

Aus dem Medizinischen Zentrum für Innere Medizin
am Klinikum der Justus-Liebig-Universität Gießen
und aus dem Institut für Sportwissenschaft der
Justus-Liebig-Universität Gießen

Kardio-zirkulatorische und pulmonale Reaktionen trainierter und untrainierter Männer bei körperge- wichtsbezogener Laufband- u. Fahrrad-Ergometrie

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Staaden, Walter
aus Oberbiel

1979 Gießen



Aus dem Medizinischen Zentrum für Innere Medizin
am Klinikum der Justus-Liebig-Universität Gießen
und aus dem Institut für Sportwissenschaft der
Justus-Liebig-Universität Gießen

Kardio-zirkulatorische und pulmonale Reaktionen trainierter und untrainierter Männer bei körperge- wichtsbezogener Laufband- u. Fahrrad-Ergometrie

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Staaden, Walter
aus Oberbiel

1979 Gießen

Dekan:	Prof. Dr. Ringleb
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Nowacki
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Voitowitz
Kommissionsgutachter:	Prof. Dr. Jessen
	Prof. Dr. Pleschka

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung und Fragestellung	4
II. Theoretische Einführung	
A. Die Stellung der Laufbandergometrie	7
B. Überlegungen zur körpergewichtszugehörigen Belastung am Laufband	10
C. Leistungsphysiologische Meßgrößen und ihre Bedeutung	
1. Wattleistung	20
2. Blutdruck	22
3. Atemminutenvolumen mit Atemfrequenz und Atemzugvolumen	23
4. Herzschlagfrequenz	25
5. Sauerstoffpuls	27
6. Physical Working Capacity	30
7. Arbeits- und Erholungspulssumme	34
III. Methodik	
A. Untersuchungsgut	37
B. Untersuchungsbedingungen	
1. Beschreibung des spiroergometrischen computergesteuerten Meßverfahrens und seiner Meßgrößen	44
2. Spiroergometrische Untersuchungen am Fahrrad- und Laufbandergometer	59

	Seite
IV. Kritik der Methodik	72
V. Statistische Beurteilung der Ergebnisse	74
VI. Ergebnisse	
1. Wattleistung	77
2. Blutdruck	79
3. Atemminutenvolumen mit Atemfrequenz und Atemzugvolumen	85
4. Herzschlagfrequenz	94
5. Sauerstoffpuls	99
6. Physical Working Capacity	103
7. Arbeits- und Erholungspulssumme	104
8. Durchschnittsmaximalwerte und statistische Signifikanzen	108
VII. Diskussion der Ergebnisse	113
1. Wattleistung	113
2. Blutdruck	119
3. Atemminutenvolumen mit Atemfrequenz und Atemzugvolumen	124
4. Herzschlagfrequenz	132
5. Sauerstoffpuls	139
6. Physical Working Capacity	146
7. Arbeits- und Erholungspulssumme	150



5. Inhaltsverzeichnis

Seite

VIII.	Zusammenfassung	158
IX.	Literaturverzeichnis	I - XIV
X.	Anhang	



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552619_0085

I. Einleitung und Fragestellung

Seit BRAUER und KNIPPING im Jahre 1929 die Spiroergometrie in die Klinik eingeführt haben, ist sie, durch ständige Verbesserung und Weiterentwicklung, zu einer unerläßlichen und wertvollen Hilfe bei der Bestimmung der kardialen und pulmonalen Leistungsfähigkeit geworden.

Im Laufe der Zeit entwickelten sich verschiedene Schulen, die sich vor allem in der Art der verwendeten Apparatur, in der Untersuchungsmethodik und in der Bedeutung, die sie den verschiedenen biologischen Parametern beimessen, unterscheiden. Stellvertretend für alle anderen seien hier als typische Vertreter für die Fahrradergometrie MELLEROWICZ (39, 40, 41), für Laufbanduntersuchungen KIRCHHOFF (30, 31), und für Belastungsuntersuchungen mit der Kletterstufe KALTENBACH (27) genannt. Auch bei der Bewertung der gemessenen biologischen Funktionsgrößen werden von den einzelnen Autoren deutliche Schwerpunkte gesetzt. So beschäftigt sich zum Beispiel ISRAEL (21, 22, 23, 24, 25) vor allem mit dem Verhalten der Herzfrequenz, RUTENFRANZ (65, 66) mit der Physical Working Capacity (PWC_{170}), MÜLLER (43, 44) mit den Arbeits- und Erholungspulssummen und REINDELL (56, 57) führte umfangreiche Untersuchungen über das Verhalten des Sauerstoffpulses durch.

Grundsätzlich muß aber für alle spiroergometrischen Untersuchungen gelten, daß die Belastung quantitativ exakt meßbar und an jedem Ort und zu jeder Zeit reproduzierbar ist.

Im Gegensatz zu den angelsächsischen Ländern werden in deutschen Instituten nur relativ wenig Laufbanduntersuchungen durchgeführt, obwohl doch das Laufen eine physiologische Bewegungsform ist und für viele Sportarten die adäquate Belastung darstellt.

Als Begründung wird vor allem angegeben, daß die Belastung nicht genau zu dosieren ist, und daß, durch unterschiedliche Bewegungskoordination, Wirkungsgradunterschiede auftreten können. (HOLLMANN (20), KALTENBACH (27), KIRCHHOFF (31))

Da unserer Meinung nach all diese Gründe die vielen Vorteile des Laufens als der physiologischsten Belastungsart nicht aufwiegen, soll mit der vorliegenden Arbeit, sowohl durch theoretische Überlegungen, als auch durch verschiedene praktische Untersuchungsmöglichkeiten dazu beigetragen werden, der Laufbandergometrie diejenige Stellung innerhalb der kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik einzuräumen, die ihr aufgrund ihrer vielen Vorteile gebührt.

Zusammen mit WETTICH (74) und ZIMMER (75) wurden am Institut für Sportmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen unter Leitung von Professor Dr. Nowacki und

seinem Untersuchungsteam insgesamt 48 männliche Probanden - Untrainierte, Trainierte und Leistungssportler - hinsichtlich der Kreislaufwirkung von Fahrrad- und Laufbandergometer-Belastung untersucht. Durch die fortlaufende halb- und minutliche Registrierung aller wichtigen biologischen Daten können Aussagen getroffen werden, die nicht nur für die Sportmedizin, sondern auch für die Arbeitsmedizin, die Allgemeinmedizin und besonders für die Rehabilitation von Bedeutung sind.

Im Rahmen der gesamten Fragestellung soll diese Arbeit in erster Linie folgende Fragen klären helfen:

1. Besteht die Möglichkeit auch am Laufband genau festgelegte Belastungsstufen und dosierte Wattleistungen einzustellen?
2. Wie verhält sich die Herzfrequenz und die von ihr abhängigen Größen (APS, EPS, PWC_{170'}, O₂-Puls) bei laufbandergometrischen Untersuchungen im Vergleich zur Fahrradergometrie?

APS ≙ Arbeitspulssumme

EPS ≙ Erholungspulssumme

PWC ≙ Physical Working Capacity

O₂-Puls ≙ Sauerstoffpuls

II. Theoretische Einführung

A. Die Stellung der Laufbandergometrie

Die Durchführung von Belastungsuntersuchungen ist auf verschiedenste Art und Weise mit unterschiedlichen Geräten möglich. Ob man sich bei einer Untersuchungsreihe für die Kletterstufe, das Drehkurbelergometer, das Laufband oder aber das Fahrradergometer entscheidet, hängt einerseits von der Fragestellung, andererseits aber auch von anderen Faktoren, wie der Kostenfrage, dem zur Verfügung stehenden Untersuchungsgut oder den räumlichen Verhältnissen ab. Anhand der Publikationen über Fragen der Ergometrie kann man erkennen, daß in den deutschen sportmedizinischen Instituten vor allem die Fahrradergometerarbeit, sei es im Sitzen oder Liegen, angewandt wird. Ihr Vorteil wird vor allem in der exakt zu definierenden Wattleistung und somit in der guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse gesehen.

Als Begründung für die geringe Verwendung des Laufbandes bei der kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik werden vor allem der hohe Preis, der große Platzbedarf und Koordinationsschwierigkeiten - besonders älterer Probanden - mit dadurch bedingten Wirkungsgradunterschieden angeführt. All diese Gründe er-

scheinen jedoch nicht so zwingend, als daß man das Laufband in der Sport- und Leistungsmedizin derart vernachlässigen sollte. Gehen oder Laufen ist als physiologischste Bewegungsform von Probanden jeden Alters und jeglicher Leistungsstärke auszuführen.

Der Einsatz großer Muskelgruppen führt zu einer hohen Kreislaufbelastung. Im Gegensatz zur Fahrradergometrie, bei der sehr oft eine muskuläre Insuffizienz in der Beinmuskulatur zu einem vorzeitigen Untersuchungsabbruch führt, ist beim Laufen das Herz-Kreislauf-System der limitierende Faktor. Durch entsprechende Einstellung von Bandgeschwindigkeit und Neigungswinkel kann der untersuchende Arzt alltägliche Anforderungen, vom gemütlichen Spaziergang bis zum schnellen Bergaufgehen, vom Dauerlauf bis zum Mittel- und Langstreckenlauf, ins Untersuchungslabor verlegen.

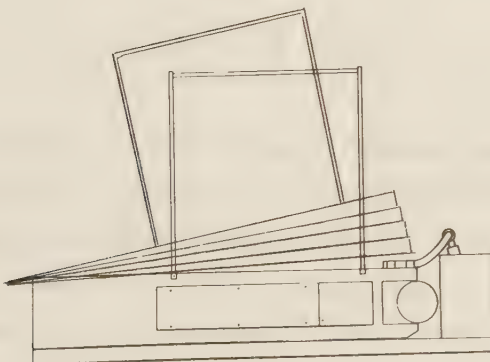


Abb. 1 Laufbandergometer mit verschiedenen Steigungswinkeln

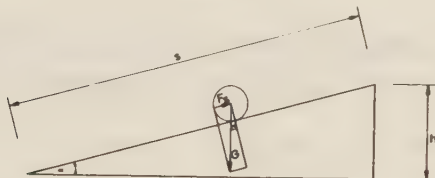
Von vielen Autoren, KIRCHHOFF (31), HOLLMANN (19, 20), MADER (38) und anderen, wurden bereits Laufbanduntersuchungen durchgeführt und kritisch bewertet, ohne daß in diesen Arbeiten Angaben über exakt definierte Bedingungen, die eine genaue Ermittlung der Wattleistung, auch am Laufband, ermöglichen, gemacht wurden. Mit der vorliegenden Arbeit soll diese Lücke geschlossen werden.

Das Verhalten verschiedener biologischer Parameter im submaximalen und maximalen Bereich soll in einem Vergleich zwischen Fahrrad- und Laufbandergometrie Aufschluß geben über die Verwertbarkeit objektiv registrierter Befunde zur kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik bei Laufbanduntersuchungen.

B. Überlegungen zur körporgewichtsbezogenen Belastung am Laufbandergometer

Bei unseren Überlegungen wollen wir von der schematischen Darstellung des Laufbandes als "SCHIEFE EBENE", wie sie in Abbildung 2 gezeigt ist, ausgehen.

Theoretische Überlegungen zur körporgewichtsbezogenen Leistung am Laufbandergometer



$$G = m \cdot g$$

$$F_g = \frac{G \cdot h}{s} = G \cdot \sin \alpha$$

$$W = F_g \cdot s \text{ mit } s = v \cdot t$$

$$W = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v \cdot t$$

$$N = \frac{W}{t} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v$$

$$\text{Dimensionsbetrachtung } N[W] = \left[\frac{[kg]}{[sec]} \right] \left[\frac{[m]}{[sec]} \right]$$

$$N[W] = [N] \left[\frac{[m]}{[sec]} \right] = \left[\frac{[J]}{[sec]} \right] = [W]$$

Abb. 2 Die schiefe Ebene mit den physikalisch relevanten Formeln

Bei den modernen Hochleistungslaufbändern besteht die Möglichkeit, verschiedene Belastungen durch Variation der Laufbandgeschwindigkeit und des Neigungswinkels einzustellen. Dies bedeutet, daß wir aus allgemein gültigen Gesetzen der SCHIEFEN EBENE eine mathematische Formel herleiten müssen, die es uns ermöglicht mit Hilfe der bekannten Parameter Lauf-

bandgeschwindigkeit und Laufbandneigung die erbrachte körperliche Leistung zu berechnen, bzw. selbst exakt festgelegte Belastungsstufen einzustellen.

In Abbildung 2 sind alle wichtigen Formeln zusammengefaßt, deren Herleitung im Folgenden näher erläutert werden soll:

Die senkrecht nach unten wirkende Gewichtskraft G ist das Produkt aus Masse und Erdbeschleunigung

$$\text{I} \quad G = m \cdot g$$

Die bei der schiefen Ebene aufzuwendende Steigkraft F_s ergibt sich aus dem Produkt von Gewichtskraft und dem sinus des Steigungswinkels

$$\text{II} \quad F_s = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Als Arbeit wird das Produkt aus der, für diese Arbeit aufgewendeten Kraft und dem, unter Einwirkung dieser Kraft zurückgelegten Weg definiert

$$\text{III} \quad W = F_s \cdot s$$

Da die Strecke s unbekannt, die vorgegebene Geschwindigkeit v aber bekannt ist, wird die Formel für die geleistete Arbeit folgendermaßen umgeschrieben:

$$\text{IV} \quad W = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v \cdot t$$

Für unsere Überlegungen ist aber nicht die Arbeit, sondern die vom Probanden erbrachte Leistung der entscheidende Parameter. Per definitionem ist die Leistung N der Quotient aus der in einer bestimmten Zeit geleisteten Arbeit W und dieser Zeit t

$$\text{V} \quad N = W : t$$

Die von einer Versuchsperson beim Gehen oder Laufen auf einer schiefen Ebene (Laufband) erbrachte Leistung, ist durch die folgende Formel physikalisch genau, entsprechend internationalen SI-Einheiten (s. auch Dimensionsbetrachtung auf Abb. 2), ausgedrückt und zu berechnen

$$\text{VI} \quad N = m \cdot g \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Da wir unsere Untersuchungen im Körpergewichtsbetragenen Belastungsverfahren durchführen wollen, wird Gleichung VI wie folgt umgeformt:

$$\text{VII} \quad \frac{N}{m} = g \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Mit Hilfe von Formel VII kann durch Einsetzen verschiedener Geschwindigkeitswerte die grundlegende Frage geklärt werden, nämlich für welche Geschwindigkeit v und welchen Steigungswinkel wird der Quotient $\frac{N}{m} = 1$ (bzw. 2, 3 oder 4), das heißt wann leistet eine Versuchsperson bei einer Laufbanduntersuchung genau 1 Watt/kg (bzw. 2, 3 oder 4 Watt/kg).

Im Folgenden soll anhand eines Beispiels der Rechengang erläutert werden. Die zugrundeliegende Bedingung lautet:

$$g \cdot v \cdot \sin \alpha = 1$$

In vielen Vorversuchen konnten wir feststellen, daß eine Laufbandgeschwindigkeit von 9 km/h entsprechend 2,5 m/sec für Normalpersonen eine optimale Belastungsgeschwindigkeit darstellt.

Da auch die Erdbeschleunigung g als Konstante bekannt ist (hierfür kann näherungsweise der Wert 10 eingesetzt werden), bleibt als einzige Unbekannte noch $\sin \alpha$ zu berechnen:

$$10 \quad 2,5 \quad \sin \alpha = 1$$

$$25 \quad \sin \alpha = 1$$

$$\sin \alpha = 0,04$$

Da bei kleinen Winkeln die Werte von sinus und tangens praktisch identisch sind, die Tangensfunktion zudem der prozentualen Steigung entspricht, ergibt sich für unser Beispiel, daß die Steigung, bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 9 km/h, genau 4 % betragen muß, wenn ein Proband eine Leistung von 1 Watt/kg erbringen soll. Soll die geforderte Leistung 2, 3 oder 4 Watt/kg betragen, muß bei derselben konstanten Geschwindigkeit von 9 km/h die Steigung, entsprechend der oben durchgeführten Rechnung, auf 8, 12 bzw. 16 % gesteigert werden.

BELASTUNGSMÖGLICHKEITEN AM LAUFBAND

Watt/kg \ km/h	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9	7,2	6	5,2	4,5	4	3,6	3,25	3
2	18	14,4	12	10,4	9	8	7,2	6,5	6
3	27	21,6	18	15,6	13,5	12	10,8	9,75	9
4	36	28,8	24	20,8	18	16	14,4	13	12
5	45	36	30	26	22,5	20	18	16,25	15

Steigung
% in Einheiten

konstante Geschwindigkeit, steigende Laufbandneigung

Steigung Watt/kg \	4	4,5	6	8	9	10	12
1	9	8	6	4,5	4	3,6	3
2	18	16	12	9	8	7,2	6
3	27	24	18	13,5	12	10,8	9
4	36	32	24	18	16	14,4	12
5	45	40	30	22,5	20	18	15

km/h

konstante Laufbandneigung, steigende Geschwindigkeit

Tabelle 1 Verschiedene Möglichkeiten der körpergewichtsbezogenen Belastung am Laufband

Am Laufband ist eine kontinuierliche Steigerung der Belastung auf zwei verschiedenen Wegen möglich. Einmal kann bei konstanter Geschwindigkeit die Steigung erhöht werden, zum anderen kann die Steigung fixiert und die Geschwindigkeit kontinuierlich gesteigert werden. In Tabelle 1 sind diese verschiedenen Möglichkeiten der körpergewichtsbezogenen Laufbandbelastung dargestellt. Aus der oberen Tabelle kann für jede Laufbandgeschwindigkeit von 4 km/h bis 12 km/h die zugehörige Laufbandneigung ersehen werden, die Belastungen von 1 Watt/kg bis zu 5 Watt/kg ermöglicht.

In der unteren Tabelle ist der umgekehrte Fall dargestellt. Bei konstant gehaltenem Steigungswinkel wird eine Steigerung der relativen Wattleistung durch entsprechende Erhöhung der Laufbandgeschwindigkeit erreicht.

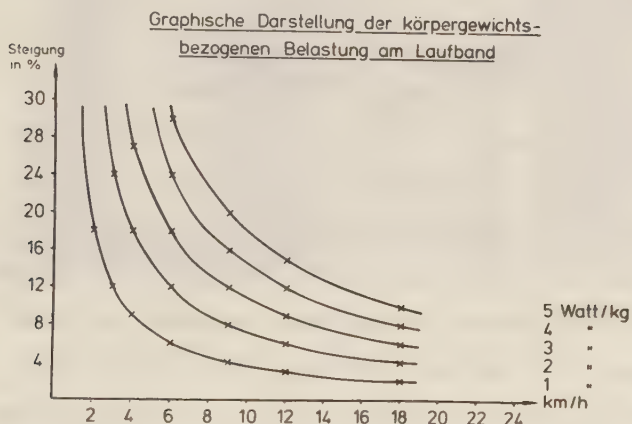


Abb. 3 Die körpertgewichtsbezogene Belastung am Laufband mit prozentualer Steigung und Geschwindigkeit in km/h

In Abbildung 3 sollen die Möglichkeiten der körpertgewichtsbezogenen Laufbandbelastung auf graphische Weise dargestellt werden. Im Koordinatensystem wird auf der Abszisse die Geschwindigkeit und auf der Ordinate die Laufbandneigung aufgetragen. Die 5 Kurven entsprechen den Belastungsstufen von 1 Watt/kg bis 5 Watt/kg.

Mit Hilfe dieser Zeichnung kann durch Einsetzen von Laufbandneigung und -geschwindigkeit die erbrachte relative Wattleistung - auch aus älteren Arbeiten, in denen diese nicht bestimmt war - schnell und hinreichend genau bestimmt werden.

Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. KIRCHHOFF (31) berichtet, daß bei seinen Untersuchungen die maximal erreichte Leistung bei 6 km/h und einer Laufbandneigung von 27 % lag. Trägt man diese beiden Zahlen in Abbildung 3 auf Abszisse und Ordinate auf, kann man leicht ermitteln, daß die gesuchte Wattleistung in der Mitte zwischen den Kurven von 4 Watt/kg und 5 Watt/kg liegt. Die exakte maximale Leistung ermittelt man durch Einsetzen der beiden oben gegebenen Zahlenwerte in Gleichung VII (vorher sind km/h in m/sec umzurechnen).

Die leicht durchzuführende Berechnung liefert ein Ergebnis von 4,48 Watt/kg.

Anhand dieses Beispiels ist zu sehen, wie schnell, sowohl graphisch, als auch rechnerisch, aus jeder beliebigen Arbeit mit zwei gegebenen Größen (Steigung und Geschwindigkeit) die relative Wattleistung ermittelt werden kann.

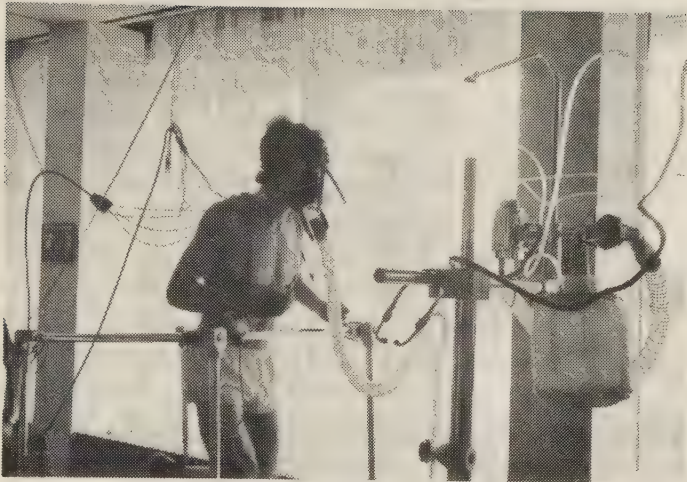


Abb. 4 Proband während der Belastung
am Laufbandergometer

An dieser Stelle muß nochmals betont werden, daß der entscheidende Punkt in der oben durchgeführten mathematischen Beweisführung die Tatsache ist, daß bei kleinen Winkeln die Sinusfunktion praktisch gleich der Tangensfunktion ist, die der prozentualen Steigung entspricht.

In Tabelle 2 ist die Differenz zwischen Sinusfunktion und Tangensfunktion für die bei unseren Versuchen eingestellten Steigungen dargestellt.

<u>prozentuale</u> <u>Steigung</u>	<u>Steigungs-</u> <u>winkel α</u>	<u>Differenz</u> <u>$\sin \alpha / \tan \alpha$</u>
4 %	2° 17'	0,0 001
8 %	4° 35'	0,0 003
12 %	6° 54'	0,0 009
16 %	9° 12'	0,0 021
20 %	11° 32'	0,0 042

Tabelle 2 Prozentuale Steigung mit zugehörigem Steigungswinkel und der entsprechenden Differenz von Sinus- und Tangensfunktion

Es zeigt sich, daß die Differenz bei der höchsten Steigung von 20 % nur 42/1000 beträgt. Diese Differenz fällt für die Praxis nicht ins Gewicht, da man selbst bei größter Genauigkeit, Laufbandgeschwindigkeit und Laufbandneigung nicht so exakt einstellen kann, daß man behaupten könnte, die Meßgenauigkeit fiele in den Meßbereich von zwei oder gar drei Stellen hinter dem Komma. Bei einer Steigung von 20 % sind die Meßergebnisse noch hinreichend genau, allerdings sollte man unserer Meinung nach die Steigung nicht über 20 % hinaus erhöhen.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, Laufbandergometertests mit Hilfe der Beziehung

$$N = g \cdot v \cdot \sin \alpha$$

zu standardisieren.

Es muß bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die genannte Formel eine Vereinfachung darstellt, was schon daraus ersichtlich wird, daß beim Laufen in der Horizontalen ($\alpha = 0$) keine meßbare Leistung ($N = 0$) mehr gegeben wäre.

Bei der Leistung N in Gleichung VI handelt es sich um eine definierte Leistung im Sinne der Arbeitsphysiologie, nämlich um die pro Zeit verrichtete physikalische Hubarbeit auf der schiefen Ebene. Diese "äußere" Leistung stellt jedoch nur einen Teil der arbeitsphysiologischen Gesamtbelastung dar. Die Verknüpfung zwischen "äußerer" Leistung und Gesamtbelastung ist durch den Wirkungsgrad gegeben.

In Arbeiten anderer Autoren (76, 77, 78) wurde versucht, eine Standardisierung von Laufbandergometermessungen im Vergleich zur Fahrradergometrie über einen charakteristischen Belastungsparameter, wie z. B. die Sauerstoffaufnahme, zu erreichen.

Diesem Vorgehen liegt der Gedankengang zugrunde, daß eine aus Laufbandgeschwindigkeit und -steigung berechnete Belastung mit Fahrradergometerbelastungen gleichen Sauerstoffverbrauchs übereinstimmen muß.

Vergleicht man nun unsere Vorhersagen mit entsprechenden, wirkungsgradkorrigierten Werten der über die Sauerstoffaufnahme bestimmten Belastungen, so findet sich eine annähernde Übereinstimmung nur bei Steigungen, die größer als 10-12 % sind. Teilweise ergeben sich beim direkten Vergleich von Fahrrad- und Laufbandergometerbelastungen gleichen Sauerstoffverbrauchs jedoch sehr starke Abweichungen, die teilweise mehr als 20 % betragen können.

Es muß also festgestellt werden, daß der hier gewählte Ansatz, Belastungen in der Laufbandergometrie zu definieren, insbesondere für vergleichende Untersuchungen mit der Fahrradergometrie, nur eingeschränkt verläßlich ist.

C. Leistungsphysiologische Meßgrößen und ihre Bedeutung

1. Wattleistung und Belastungszeit

Die körperliche Leistungsfähigkeit wird in mkp/Zeit bzw. Watt gemessen. 1 mkp/sec entspricht 9,81 Watt oder aufgerundet 10 Watt.

Die Leistung von 10 Watt erbringt eine Versuchsperson, die in einer Minute ein Gewicht von 1 kg 60 mal in 1 m Höhe hebt.

Die Wattleistung ist ein entscheidendes Kriterium zur Einschätzung der körperlichen Belastbarkeit. MELLEROWICZ (39) fordert, daß eine gesunde Normalperson mindestens 6 Minuten lang das Zwei- bis Dreifache ihres Körpergewichtes und ein Sportler mehr als das Dreifache seines Körpergewichtes in Watt leisten sollte. Dieser, von ihm Leistung - (Watt) - Gewichts (kg) - Quotient (LGQ) benannte Faktor ist der körperlichen Leistungsfähigkeit direkt proportional, d.h. er ist um so größer, je größer die Leistungsfähigkeit des Probanden ist.

Das körperrgewichtsbezogene Belastungsverfahren bietet sowohl am Laufband, durch die direkte Abhängigkeit von Belastungshöhe und Körpergewicht, als auch am Fahrrad, wo es eine schnelle zeit-

liche Ausbelastung ermöglicht, entscheidene Vorteile.

Die folgende Tabelle nach NOWACKI (49) liefert einen sehr guten Anhaltspunkt zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei maximaler Ausbelastung (Gießener Watt/kg-Belastungsmethode):

Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei voller Ausbelastung des kardio-zirkulatorischen Systems

Leistung	2'	2 Watt/kg	= völlig untrainiert Verdach auf pathologische Veränderungen
Leistung	1'	3 Watt/kg	= ausreichende Leistung eines Untrainierten
Leistung	2'	3 Watt/kg	= befriedigend, normale Leistung eines Untrainierten
Leistung	1'	4 Watt/kg	= befriedigend trainiertes körperliches Leistungsvermögen
Leistung	2'	4 Watt/kg	= gut trainiertes körperliches Leistungsvermögen

Leistung	1 - 2 ' 5 Watt/kg	= sehr gut trainiertes kör- perliches Lei- stungsvermögen
----------	-------------------	--

Leistung	1 ' 6 Watt/kg	= Hochleistungs- trainingszustand
----------	---------------	--------------------------------------

Diese Tabelle gilt für alle Untersuchungen, die im Watt/kg-Verfahren am Fahrradergometer durchgeführt werden. Eine Steigerung der Belastung erfolgt, ausgehend von einem Anfangswert von 1 Watt/kg, alle zwei Minuten um je 1 Watt/kg.

Bei unseren Untersuchungen diente diese Tabelle als Anhalt für eine Einteilung der Versuchspersonen in eine trainierte und eine untrainierte Vergleichsgruppe.

2. Blutdruck

Zur Beurteilung des Trainingszustandes wird oft das Verhalten des arteriellen Blutdrucks angegeben. Körperliches Training führt in Abhängigkeit von endogenen vegetativen Faktoren zu einer Ökonomisierung des Kreislaufes. Diese führt zu einer Erhöhung des peripheren Widerstandes und einer Erniedrigung des Herzzeitvolumens, was dann zu einer Erniedrigung des systolischen Blutdrucks in Ruhe führt und mit einer

gleichzeitig geringen Erhöhung des diastolischen Blutdrucks einhergeht, (NÖCKER, 46).

Durch eine Erhöhung des Schlagvolumens und Reduktion des peripheren Widerstandes während der Belastung steigt der systolische Druck an, während der diastolische Druck nur einen geringen Anstieg zeigt.

Bei Beendigung einer Belastung erfolgt ein Abfall des systolischen sowie des diastolischen Blutdrucks. Die Annäherung des Blutdrucks nach Belastung an die Ruhewerte erfolgt bei Trainierten schneller als bei Untrainierten.

3. Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen

Das Atemminutenvolumen (AMV) ist das Produkt aus Atemfrequenz (Af) und Atemzugvolumen (AZV).

Der Ruhewert des AMV beträgt 8l/min und berechnet sich aus einer durchschnittlichen Atemfrequenz von 16/min bei einem Atemzugvolumen von 500 ml (NOWACKI (50)).

Das Atemminutenvolumen steigt mit Beginn einer Belastung exponentiell an. Dabei erhöhen sich die Atemfrequenz und das Atemzugvolumen (KÜCHLIN (37)). Eine Erhöhung des AMV ist über eine Steigerung der Af und über eine Erhöhung des AZV möglich.

Letzteres ist als der ökonomischere Weg anzusehen, da die Vertiefung der Atmung zu einer Verbesserung der alveolaren Ventilation und zur Erleichterung des venösen Rückstroms zum Herzen führt (NÖCKER (46)).

KÖNIG, MURUKAS, ROSKAMM und REINDELL (34) konnten zeigen, daß der Trainierte bei höchsten Belastungen mehr über eine Vertiefung der Atmung reagiert, während der Untrainierte eine Steigerung der Belastung mit unökonomischem Atemfrequenzanstieg beantwortet. Ein weiteres Kriterium des trainierten Organismus ist die Verminderung des AMV gegenüber dem untrainierten bei gleicher Belastungshöhe (KIRCHHOFF, REINDELL, GEBAUER (30)).

Im maximalen Leistungsbereich gibt NOWACKI (50) für Untrainierte ein AMV von 80 ± 10 l/min an. Die maximale Af liegt zwischen 25 und 30/min, während das AZV auf 2,5 bis 3 l gesteigert werden kann.

Bei Sportlern liegen die maximalen Werte sehr viel höher. NOWACKI, KRAUSE, ADAM und RULFFS (52) fanden beim Mexiko-Achter ein mittleres AMV von 198,3 l/min, bei einer Af von 48 bis 54/min und einem AZV zwischen 3,9 und 4,1 l.

Hierbei erreichen die Sportler Atemzugvolumina von 50 bis 60 % ihrer Vitalkapazität.

4. Herzschlagfrequenz (Hf)

Seitdem sich die Medizin mit der Diagnostik der körperlichen Leistungsfähigkeit beschäftigt, zählt das Verhalten der Herzschlagfrequenz und deren Interpretation zu den wichtigsten Kriterien. Anderen Meßgrößen gegenüber hat sie den Vorteil, daß ihre Registrierung einfacher, billiger und schmerzfrei möglich ist. Ihr Verhalten in Ruhe, bei submaximalen Belastungen, in der Ausbelastungs- und in der Erholungsphase zeigt Beziehungen zur Belastungsintensität, zur Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems und zur Ausdauerleistungsfähigkeit (ISRAEL u. a. (25)).

Neben anderen Parametern wie Atemäquivalent und Respiratorischer Quotient zeigt sie an, ob eine Versuchsperson voll ausbelastet ist, was eine der Bedingungen von vita-maxima-Untersuchungen ist.

Schon seit vielen Jahren ist bekannt, daß körperliches Training eine Wirkung auf die Hf hat

(CHRISTENSEN (9), ASTRAND (3, 5), MELLEROWICZ (39, 41) ISRAEL (21, 22, 23, 24, 25), HOLLMANN (15, 16, 17), NOWACKI (49, 50, 51, 52) u. a.).

Von vielen Autoren konnte dann im Laufe der Zeit bewiesen werden, daß die Größe der Hf auf definierten submaximalen Belastungsstufen der Größe der körperlichen Leistungsfähigkeit umgekehrt proportional ist.

MÜLLER (43) behauptete, daß die Senkung der Ruhe-Hf durch körperliches Training als Zeichen eines verringerten Herzminutenvolumens zu sehen ist, welches durch Ökonomisierung des Gasaustausches und Stoffwechsels in der Peripherie ermöglicht wird. Nach neueren Untersuchungen in den letzten Jahren hat man diese Auffassung allerdings verlassen. Die Senkung der Ruheherzfrequenz beim Trainierten wird als Zeichen seiner vagotonen Reaktionslage angesehen (NOWACKI (54)).

Besondere Bedeutung haben die submaximale und die maximale Herzfrequenz zur Steuerung des Trainings und zur Unterscheidung leistungsstarker von weniger leistungsstarken Athleten.

Während viele Autoren durchschnittliche Maximalwerte der Hf für Männer und Frauen, Normalpersonen und Leistungssportler ermittelten - auf die im weiteren noch eingegangen werden soll - ist es nicht möglich, bestimmte Normalwerte für eine bestimmte Belastungsstufe anzugeben. Eine Zuordnung ist aber dann möglich, wenn man die durchschnittliche Herzfrequenz in Relation zur Herzgröße setzt. Ein Beispiel von ISRAEL (24) mag dies verdeutlichen:

Bei einer Belastung von 200 Watt beträgt die durchschnittliche Hf bei einem Probanden mit 660 ml Herzvolumen 177/min. Bei einem Herzvolumen von 1250 ml soll die durchschnittliche Hf 146/min betragen.

Herzvolumen von 1250 ml entsprechen einem Sportherzen, das heißt einem Herzen, bei dem ständige Trainingsreize eine vergrößerte Restblutmenge und damit eine regulative Dilatation des Herzmuskels bewirken. (REINDELL (57), ISRAEL (22), NOWACKI und UTHGENANNT (53)).

Die Herzfrequenz alleine kann keine ausreichenden Aussagen über die körperliche Leistungsfähigkeit machen. Auch bei Sportarten, die eine hohe psychische Anspannung erfordern (Skiabfahrtslauf, Fallschirmspringen u. a.), treten extrem hohe maximale Herzfrequenzen auf, ohne jedoch eine bedeutsame Leistungssteigerung des kardio-pulmonalen Systems zu bewirken.

5. Sauerstoffpuls (O_2/H_f)

Eine enge Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz bei steigender Muskelarbeit ist schon seit langer Zeit bekannt. Bereits im Jahre 1914 wurde von HENDERSON und PRINCE (13) der Begriff Sauerstoffpuls (oxygen pulse) in die Literatur eingeführt und als Quotient aus der Sauerstoffaufnahme/min und der Herzfrequenz/min definiert. SZAKALL (70) fand bereits 1944, daß sich der Sauerstoffpuls proportional zur Leistung verhält. Heute gilt der Sauerstoffpuls als bedeutende Kenngröße im Rahmen der kardio-

respiratorischen Funktionsdiagnostik.

Genau definiert versteht man unter Sauerstoffpuls die Menge Sauerstoff (in ml), die während einer ganzen Herzaktion (Systole und Diastole) aufgenommen wird.

Der maximale O_2 -Puls fällt überwiegend mit der maximalen O_2 -Aufnahme zusammen, er kann jedoch gelegentlich vorher erreicht werden, wenn die Herzschlagfrequenz noch relativ niedrig liegt (NOWACKI, 50).

Frühere Aussagen von P. ASTRAND (3), nach denen der Sauerstoffpuls abhängig von der Größe des Schlagvolumens und der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz des Blutes ist, wurden in einer grundlegenden Arbeit von MUSSHOF u. a. (45) bestätigt und weiter differenziert. Ihre Ergebnisse seien hier kurz zusammengefaßt:

Bei submaximalen Belastungsstufen ist der Sauerstoffpuls eine Funktion des Schlagvolumens und des Herzvolumens, nicht aber der arterio-venösen Differenz und des Herzminutenvolumens.

Der maximale Sauerstoffpuls ist eine Funktion des Herzvolumens, des größten während Belastung erzielten Schlagvolumens, des maximalen Herzminutenvolumens und der maximalen a.v.-Differenz.

Die Unterschiede des Sauerstoffpulses von Sportlern, Männern und Frauen, werden mit steigender Belastung größer und sind bei maximaler Belastung am größten.

KÖNIG und Mitarbeiter (33) zeigten, daß auch im höheren Alter, bedingt durch eine vorzeitige Steigerung der a.v.-Differenz, die Mittelwerte des Sauerstoffpulses bei submaximalen Belastungen nicht abfallen. Bei maximaler Belastung erfolgt nach stetigem Abfall von der dritten bis zur fünften Lebensdekade wieder ein leichter Anstieg des mittleren Sauerstoffpulses. Dies wird als Folge einer im Alter sich zunehmend vermindernenden maximal erreichbaren Herzfrequenz interpretiert.

Diese Befunde werden von NÖCKER und BÖHLAU (47) bestätigt. Sie konnten zeigen, daß die Schlagvolumenregulation die Anpassungs- und Leistungsbreite des Kreislaufs an Belastungen erhöht. Da die Schlagvolumenregulation aber nur im mittleren Lebensalter (Höhepunkt um das 30. Lebensjahr) eine entscheidende Rolle spielt, muß die Leistungsbreite in der Kindheit und im höheren Alter, in denen die Frequenzregulation im Vordergrund steht, vermindert sein.

Daß der maximale Sauerstoffpuls eine Funktion der Trainingsjahre ist, wurde von verschiedenen Autoren beschrieben (ISRAEL, 22), NOWACKI (50), REINDELL (57), SCHNEIDER (68)). Seine Zunahme bei Spitzenathleten wird sowohl mit dem Anstieg der peripheren Sauerstoffutilisation, als auch mit der Zunahme des maximalen Herzzeit- und Schlagvolumens erklärt.

6. Physical Working Capacity (PWC₁₇₀)

Unter der PWC₁₇₀ versteht man diejenige Wattleistung, bei der eine Herzfrequenz von 170/min erreicht wird. Vor allem in den skandinavischen Ländern nimmt die Messung bzw. Berechnung und die Interpretation der PWC₁₇₀ einen bedeutenden Rang im Rahmen der kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik ein.

Bereits im Jahre 1948 veröffentlichte WAHLUND (71) eine Arbeit, in der er die 'Working Capacity' als diejenige Leistung bezeichnete, bei der nach stufenweiser Erhöhung der Belastung eine Herzfrequenz von 170/min erreicht wird. Die theoretische Grundlage zur Bestimmung dieses Parameters lieferte die Erkenntnis, daß Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme linear mit der Belastung ansteigen, aber nur die Steilheit des Herzfrequenzanstiegs von individuellen Faktoren (Alter, Geschlecht, Leistungsfähigkeit) abhängt.

Von vielen Autoren (ADAMS (1), BENGTSOHN (8), WAHLUND (71), RUTENFRANZ (65, 66) u. a.) wurde die PWC₁₇₀ bei Jugendlichen und Erwachsenen bestimmt. Alle Untersucher bestätigen, daß sich die Leistung (gemessen in kpm/min) bei einer Hf von 170/min gut zur Charakterisierung der Leistungsentwicklung im Jugendalter eignet.

Die Bestimmung der PWC₁₇₀ kann auf zwei Arten, näm-

lich graphisch (s. Abbildung 5) und rechnerisch erfolgen. Die Berechnung der PWC_{170} erfolgt mit folgender Formel:

$$PWC_{170} = \left(\frac{L_2 - L_1}{Hf_2 - Hf_1} \right) \cdot (170 - Hf_2) + L_2 \text{ (Watt)}$$

Zeichenerklärung:

L_1 - die niedrigere Leistungsstufe

L_2 - die höhere Leistungsstufe

Hf_1 - die Herzfrequenz in der zweiten Minute von L_1

Hf_2 - die Herzfrequenz in der zweiten Minute von L_2

Die oben angeführte Formel gilt nur für den Fall, daß Hf_2 kleiner ist als 170. Ist Hf_2 größer als 170, erfolgt die Berechnung der PWC_{170} wie folgt:

$$PWC_{170} = L_2 - \left(\frac{L_2 - L_1}{Hf_2 - Hf_1} \right) \cdot (Hf_2 - 170) \text{ (Watt)}$$

Für die Berechnung der PWC_{170} ist es wichtig, daß der Proband nicht nur in submaximalen Wattstufen belastet wird, sondern auch während der Untersuchung eine maximale Herzfrequenz erreicht. Da vor allem ältere Versuchspersonen oder Infarktpatienten in der

Rehabilitation eine Hf von 170/min nicht mehr erreichen, ist es nicht zulässig für diese Probanden die PWC_{170} zu bestimmen, da der berechnete Wert in solchen Fällen ja nicht tatsächlich erreicht wird und somit unreal ist. Bei Versuchspersonen über 30 Jahren ist es sinnvoller analog zur Berechnung der PWC_{170} die PWC_{150} oder PWC_{130} zu bestimmen, das heißt die Wattleistung, die bei einer Herzfrequenz von 150/min bzw. 130/min erreicht wird.

Im folgenden Beispiel wird die Bestimmung der PWC_{170} auf rechnerische und zeichnerische Weise durchgeführt:

$$L_1 = 160 \text{ Watt}, \quad L_2 = 240 \text{ Watt}, \quad Hf_1 = 145, \quad Hf_2 = 165$$

$$PWC_{170} = 240 + \left(\frac{240 - 160}{165 - 145} \right) \cdot (170 - 165)$$

$$PWC_{170} = 240 + 20$$

$$PWC_{170} = \underline{\underline{260 \text{ (Watt)}}}$$

In Abbildung 5 ist die graphische Lösung des oben angegebenen Beispiels durchgeführt:

Graphische Bestimmung der PWC_{170}

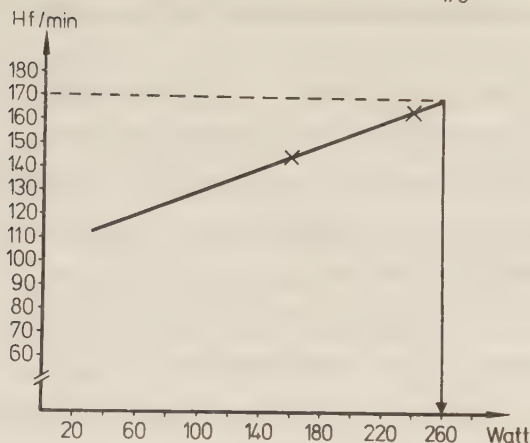


Abb. 5 Graphische Bestimmung der PWC_{170}
aus Wattleistung und Herzfrequenz

Bei der Bestimmung und Bewertung der PWC_{170} muß man sich darüber im Klaren sein, daß die Grundlage der Berechnung dieser Funktionsgröße, nämlich die Linearität zwischen Herzfrequenz- und Belastungsanstieg nur in mittleren Herzfrequenzbereichen Gültigkeit hat (MÜLLER (43), MOCELLIN (42)).

ISRAEL (21) zeigte, daß die Größe des Frequenzbereiches, in dem Herzfrequenz- und Belastungsanstieg linear verlaufen, vom Trainingszustand des Probanden abhängig ist. Dies bedeutet, daß der Bereich, in dem die Bestimmung der PWC_{170} erfolgen sollte, bei dem besser trainierten Athleten größer ist.

7. Arbeits- und Erholungspulssummen (APS und EPS)

Wie schon lange Jahre bekannt, gibt das Verhalten der Herzfrequenz während der Arbeit und in Ruhe wichtige Aufschlüsse über die körperliche Leistungsfähigkeit. Um dieses Verhalten auch quantitativ besser beschreiben zu können, führten MÜLLER und KARRASCH (28) die Begriffe der Arbeits- und Erholungspulssumme in die Leistungsmedizin ein. Nach ihrer Definition ist die Arbeitspulssumme die Summe aller Pulse, die während einer Arbeit und in der anschließenden Erholungszeit über dem Ruhepuls liegen. Die Arbeitspulssumme (APS) setzt sich also zusammen aus der Pulssumme während der Belastung (BPS) und der Pulssumme während der Erholung (EPS). Leider haben NÖCKER und BÖHLAU (48) in einer späteren Arbeit die Arbeitspulssumme als Pulssumme während der Belastung definiert und für den Terminus Arbeitspulssumme im Sinne von MÜLLER und KARRASCH den Begriff der Gesamtpulssumme eingeführt.

In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe Belastungspulssumme (BPS), Arbeitspulssumme (APS) und Erholungspulssumme (EPS) im Sinne der Definition von MÜLLER und KARRASCH verwandt, wobei sich allerdings bei unseren Versuchen die Erholungspulssumme auf eine 5-minütige Erholungszeit bezieht und nicht bis zur Rückkehr der Hf zum Ausgangsrühewert berechnet ist.

Die Herzfrequenz ist ein wichtiges Indiz für die Muskelermüdung. Wenn ein Proband längere Zeit bei unvollständiger Deckung des O_2 -Bedarfs der Muskulatur arbeitet, kommt es zu einem steilen Pulsfrequenzanstieg während der Arbeit, der um so steiler ist, je weniger der O_2 -Bedarf gedeckt ist, MÜLLER (44). Auch die verzögerte Rückkehr der Herzfrequenz zum Ausgangswert in der Erholungsphase ist ein Zeichen für hohe Arbeitsintensität bei ungedecktem O_2 -Bedarf. Um die nach ermüdender Arbeit entleerten Glykogenspeicher wieder aufzufüllen, ist Energie erforderlich, die dem aeroben Stoffwechsel entnommen werden muß. Solange aber der aerobe Stoffwechsel erhöht ist, bleibt auch die Herzfrequenz erhöht, und man erhält somit größere Erholungspulssummen, STEGEMANN (69).

Auf die Abhängigkeit der APS vom Alter wiesen NÖCKER und BÖHLAU (48) hin. Sie fanden, daß die APS von 10-jährigen Jungen bei gleicher Leistung und gleicher O_2 -Aufnahme doppelt so groß ist, wie die von 18-jährigen, bzw. dreimal so groß wie die von 35-jährigen Männern.

Dieses Ergebnis ist einleuchtend und zu erwarten, wenn man bedenkt, daß die 10-jährigen Jungen bei gleicher absoluter Leistung eine viel höhere relative Leistung zu verrichten haben.

Die Größe der Arbeits- und Erholungspulssumme gibt unter Berücksichtigung des Alters, wichtige Aufschlüsse über die Arbeitsintensität. Bei vorgegebenen definierten Arbeitsbelastungen dient sie als Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit, da der besser Trainierte für die gleiche Leistung sowohl eine niedrigere Arbeitspulssumme, als auch eine niedrigere Erholungspulssumme benötigt.

III. Methodik

A. Untersuchungsgut

In der Zeit zwischen Juli 1976 und März 1977 untersuchten und testeten wir 41 gesunde Männer im Alter zwischen 18 und 38 Jahren sowie 5 Skilangläufer und 2 Leichtathleten.

Die Normalpersonen waren zum überwiegenden Teil sportlich nicht aktiv. Einige betätigten sich jedoch im Rahmen des allgemeinen Studentensports oder spielten in unterklassigen Vereinen Fußball. Keiner der Probanden betrieb allerdings Leistungs- oder Hochleistungssport.

Die Gruppe der Hochleistungssportler setzte sich aus männlichen Mitgliedern der Hessischen Skilanglaufmannschaft, die dem Nationalkader angehörten, und Leichtathleten zusammen.

Die Versuche fanden im Sportmedizinischen Forschungs- und Untersuchungszentrum der Justus-Liebig-Universität in Gießen statt.

Die Versuchspersonen - außer den Leistungssportlern, die nicht am Fahrradergometer untersucht wurden - teilten wir aufgrund der bei der Fahrradergometrie im Sitzen erzielten Ergebnisse in 2 Vergleichsgruppen ein, und zwar in die Gruppe der trainierten sowie in die Gruppe der untrainierten Probanden.

Wir testeten die Versuchspersonen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit nach der körpertgewichtsbezogenen Belastung von NOWACKI (49). Probanden, die nicht mehr als 3 Watt/kg geleistet hatten, wurden in die untrainierte Gruppe eingestuft, während die trainierte Gruppe mindestens eine Minute eine Leistung von 4 Watt/kg schaffte (siehe auch S. 21 "Einteilungskriterien nach NOWACKI).

Die Skilangläufer und Leichtathleten wurden zur Gruppe der Leistungssportler zusammengefaßt. Diese Gruppe leistete nur Laufbandergometerarbeit und wurde nach einer modifizierten Belastungsmethode getestet, als die trainierte und untrainierte Gruppe.

Die Vergleichsgruppen

1. Untrainierte Versuchspersonen

Die untrainierte Gruppe besteht aus 20 Probanden. Nachdem die Fahrradergometerbelastung abgeschlossen war, erschienen zwei dieser Probanden allerdings (trotz mehrfacher Einladungen) nicht mehr zur Untersuchung am Laufbandergometer, so daß die Gruppe der Untrainierten eine

Stärke von $n = 18$ für den Test am Laufband-ergometer hat.

Das Durchschnittsalter dieser Gruppe betrug zum Zeitpunkt der Untersuchungen 26,6 Jahre, das Durchschnittsgewicht 77,3 kg, die Durchschnittsgröße 182 cm und die mittlere Vitalkapazität 5233 ccm.

2. Trainierte Versuchspersonen

Diese Gruppe hat eine Stärke von $n = 21$. Beim Test am Laufbandergometer traten bei einem der Probanden schon nach kurzer Belastungszeit gehäuft Extrasystolen auf, so daß der Versuch abgebrochen werden mußte. Dadurch reduzierte sich die Anzahl der Probanden für die Laufbanduntersuchung auf $n = 20$.

Das Durchschnittsalter dieser Gruppe betrug zum Zeitpunkt der Untersuchungen 25,9 Jahre, das Durchschnittsgewicht 74,5 kg, die Durchschnittsgröße 180 cm und die gemessene mittlere Vitalkapazität 5395 ccm.

3. Leistungssportler

Die Gruppe der Leistungssportler setzte sich aus 5 Skilangläufern und 2 Leichtathleten zusammen.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die Gruppe der Leistungssportler keine vollwertige Vergleichsgruppe darstellt, da die Anzahl der Probanden mit $n = 7$ zu klein, und die Gruppe nur am Laufband und hier zudem nach einem anderen Verfahren untersucht worden ist.

Aus diesem Grund wird die Gruppe der Leistungssportler nicht als statistische Vergleichsgruppe herangezogen. Ihre Ergebnisse werden allerdings zur besseren Verdeutlichung der höheren kardio-zirkulatorischen Belastung am Laufband vergleichend dargestellt.

Jeder Proband der Gruppe Leistungssportler wird hier vorgestellt mit Angaben über Alter, Körpergröße und Körpergewicht zum Testzeitpunkt.

Ferner erfolgt ein Einblick in die Sportanamnese (SpA) des Probanden sowie eine kurze Trainingsanalyse (TA).

Bei den Skilangläufern handelt es sich um:

J. Beh. 16 Jahre Größe 181 cm Gewicht 85 kg

TA: Trainiert seit 6 Jahren durchschnittlich 6 x wöchentlich und absolviert hier insgesamt 12 Stunden.

SpA: 1976 Deutscher Jugendmeister
über 6 km

1976 1. Platz bei Jugend-Länderkampf
in Italien über 8 km

1977 3. Platz bei Jugend-Europameisterschaft in der Staffel

1977 6. Platz bei der Deutschen
Jugendmeisterschaft in der
Staffel

1978 Deutscher Meister in der
Seniorenklasse über 15 km in
Braunlage/Harz.

J. Gel. 19 Jahre Größe 179 cm Gewicht 70 kg

TA: Trainiert seit 6 Jahren durchschnittlich 6 x wöchentlich und absolviert hier insgesamt 15 Stunden.

SpA: DSV-D-Kader

K. Hel. 15 Jahre Größe 179 cm Gewicht 61 kg

TA: Trainiert seit 4 Jahren durchschnittlich 7 x wöchentlich und absolviert hier insgesamt 16 Stunden.

SpA: 1976 4. Platz bei den Deutschen
Jugendmeisterschaften (DJM)
über 4 km

G. Heu. 16 Jahre Größe 181 cm Gewicht 78 kg
TA: Trainiert seit 4 Jahren durchschnitt-
lich 7 x wöchentlich und absolviert
hier insgesamt 14 Stunden.
SpA: 1975/76 2. Platz bei den DJM
1975/76 3. Platz bei einer Inter-
nationalen Veranstaltung
"Cup Berau".

J. Wol. 19 Jahre Größe 181 cm Gewicht 69 kg
TA: Trainiert seit 4 Jahren durchschnitt-
lich 7 x wöchentlich und absolviert
hier insgesamt 14 Stunden.
SpA: 1976 30. Platz bei den Europa-
meisterschaften in der CSSR
1976 2 x 2. Platz bei Internationa-
len Veranstaltungen in Italien/
Frankreich.

Bei den Leichtathleten handelt es sich um:

W. Sim. 33 Jahre Größe 182cm Gewicht 78 kg
TA: Trainiert seit 15 Jahren durchschnitt-
lich 5 x wöchentlich und absolviert
hier 12 Stunden.
SpA: Wettkampfleistungen:

100 m	in	11,1 sec
200 m	in	22,6 sec
400 m	in	50,2 sec
800 m	in	1.54 min

G. Temp. 28 Jahre Größe 180 cm Gewicht 65 kg
TA: Trainiert seit 5 Jahren durchschnitt-
lich 2 x wöchentlich und absolviert
hier 4 Stunden.
SpA: Langstrecken- und Marathonläufer.

Beide Leichtathleten haben sich auch schon als Bergsteiger in 5 bis 7000 m Höhe ausgezeichnet.

Das Durchschnittsalter für die Vergleichsgruppe Hochleistungssportler betrug 21 Jahre, die Durchschnittsgröße 180 cm und das Durchschnittsgewicht 73 kg.

Während der Laufbandergometerarbeit der Hochleistungssportler betrug der Luftdruck 748 mm Hg, die Temperatur 24° C und die relative Luftfeuchtigkeit 54 %.

Während der Fahrradergometerbelastung im Sitzen und der Laufbandergometerarbeit der untrainierten Gruppe ergaben sich hinsichtlich des Luftdrucks, der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit keine Unterschiede. Der Luftdruck betrug im Mittel 746 mm Hg, die Temperatur 24° C und die relative Luftfeuchtigkeit 53 %.

Bei der trainierten Gruppe ergaben sich während der Fahrrad- bzw. Laufbandergometerbelastung hinsichtlich des Luftdrucks, der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit keine signifikanten Unterschiede. Der Luftdruck betrug im Mittel 749 mm Hg, die Temperatur 23° C, die relative Luftfeuchtigkeit 53 %.

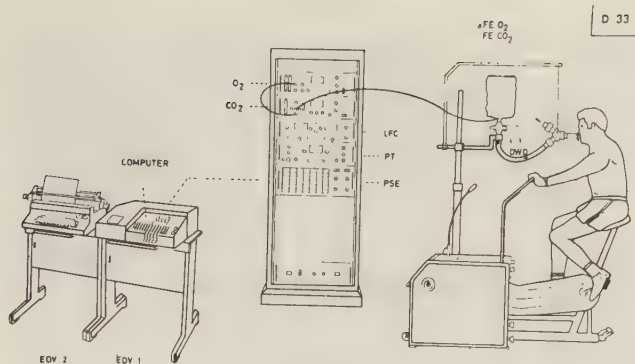
B. Untersuchungsbedingungen

1. Beschreibung des modernen spiroergometrischen computer-gesteuerten Meßverfahrens und seiner Meßgrößen

Die Datenerfassung, Datenanalyse und Datenverarbeitung bei der Ergospirometrie erfolgte nach dem pneumotachographischen Prinzip, das heißt im offenen System werden die Atemgrößen registriert und weiterhin werden die Sauerstoff- und Kohlendioxyd-Konzentration einschließlich des Ventilations-RQ nach der Wärmeleitmethode mit einer Anzeigeverzögerung von 30 Sekunden gemessen.

Im Sportmedizinischen Forschungs- und Untersuchungszentrum Gießen benutzten wir den spiroergometrischen Meßplatz der Firma E. Jaeger, Würzburg. Die Probanden wurden hier am Fahrradergometer und auf dem Laufband belastet. Die Anpassung der biologischen Registriergeräte an computergesteuerte Rechenanlagen ermöglicht unmittelbar nach der Leistungsprüfung eine genaue Analyse der biologischen Leistungsdaten.

Prinzipiell setzt sich die Anlage zusammen aus Apparaturen zur Erfassung der interessierenden Atemvolumina und solchen zur Analyse der Atemgase.



ANORDNUNG ZUR MESSUNG UND FORTLAUFENDEN BERECHNUNG DER STOFFMENGEN UND -FLÜSSE FÜR O₂ UND CO₂ BEI DOSIERTER BELASTUNG MIT DER ANLAGE ERGO-PNEUMOTEST.

73 114

Abb. 6 Schematischer Aufbau der Datenaufnahme bei der ergo-metrischen Leistungsprüfung

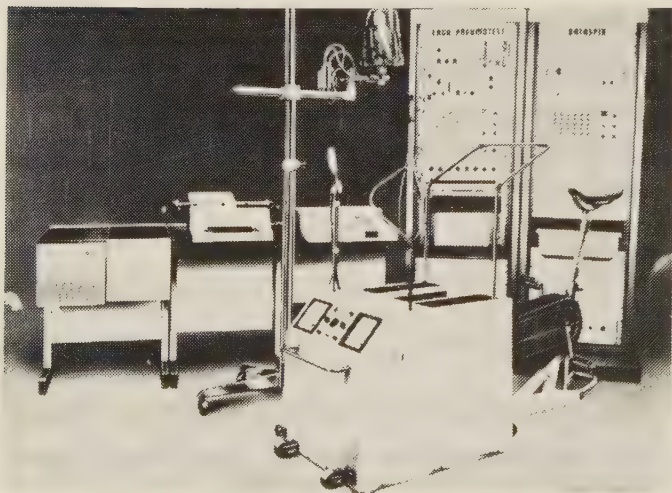


Abb. 7 Kompletter Meßplatz zur cardio-respiratorischen Diagnostik im offenen System der Firma E. Jaeger, Würzburg

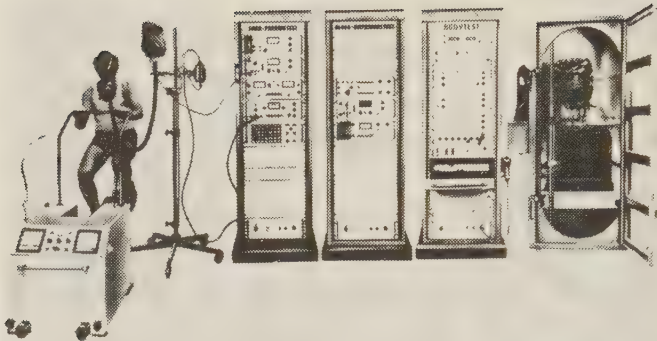


Abb. 8 Spiroergometrischer Meßplatz nach
E. Jaeger, Würzburg

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen zwei verschiedene komplette Meßplatzanordnungen zur kardio-respiratorischen Diagnostik im "offenen System" der Firma E. Jaeger, Würzburg.

Meßgrößen

1. Leistung in Watt

Die physikalische Leistung in Watt wurde mit dem Universal-Ergometer "Ergotest" nach dem Dynamoprinzip der Firma Erich Jaeger, Würzburg gemessen. Die von den Probanden geleistete Arbeit wurde auf einer geeichten Skala, die von 0 - 600 Watt reicht, registriert. Die Zeit-

nahme erfolgte durch eine Stoppuhr. Bei der Laufbandergometrie ergibt sich die Wattleistung aus Geschwindigkeit und Neigungswinkel, wie im Kapitel "Überlegungen zur körpergewichtsbezogenen Belastung am Laufband dargestellt.

2. Herzschlagfrequenz

Die Herzschlagfrequenz wurde mit Hilfe des Dreifachschreibers - Elektrokardiogramm "Cardiomat" der Firma Hellige, Freiburg i. Brsg., ermittelt. Während der Fahrrad- und Laufbandbelastungen wurde in jeder Ruhe-, Belastungs- und Erholungsminute von den Extremitätenableitungen I, II und III nach Einthoven und Brustwandableitungen V_4 , V_5 , V_6 nach Wilson, die Pulsfrequenz zwischen der 50. und 60. Sekunde gemessen, in dem aus 3 Herzaktionen mittels einer EKG-Meßlatte die jeweilige Hf auf einer Skala abgelesen wurde.

Zusätzlich konnte die Herzfrequenz durch direkte Verarbeitung der anfallenden Meßdaten mit Hilfe eines Analog-Digitalwandlers unmittelbar am Meßplatz "Ergo-Pneumotest" der Firma E. Jaeger, Würzburg, beobachtet werden.

3. Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen wird mit dem offenen System "Pneumotest" als Teil des kompletten Meßplatz zur kardiorespiratorischen Diagnostik im offenen System nach E. Jaeger, Würzburg, registriert.

Der Proband wird über eine Halbmaske an die Anlage angeschlossen. Bei Inspiration atmet er über ein widerstandsarmes Einlaßventil Außenluft ein.

Die Expirationsluft gelangt über ein gleichge-

bautes Auslaßventil und einen beweglichen 1,2 m langen Schlauch zum Pneumotachographenrohr und schließlich in die Mischkammer. Die Anordnung der Ventile an der Atemmaske ermöglicht eine nahezu tottraumfreie Atmung.

Prinzipiell beruhen die Pneumotachographen auf dem Hagen-Poiseuilleschen Gesetz, wobei bei laminarer Strömung in einem engen, starren Rohr der Durchfluß von Luft oder Flüssigkeit dem Energieverlust pro Längeneinheit proportional ist. Die fortlaufende Registrierung dieses Energieverlustes, d. h. des Druckunterschieds zwischen zwei Punkten der Röhre, liefert eine Differentialkurve, deren Ordinatenwerte die Geschwindigkeit des Luftstroms - also des Volumens pro Zeiteinheit - darstellen. Um eine lineare Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Druckunterschied zu gewährleisten, muß eine Wirbelbildung vermieden werden. Die Wirbelentstehung wird im Pneumotachographen dadurch ausgeschaltet, weil der Luftstrom auf eine große Zahl von engen parallel geschalteten Röhren aufgeteilt wird.

Die Atemzeitvolumina bei ergometrischer Leistung

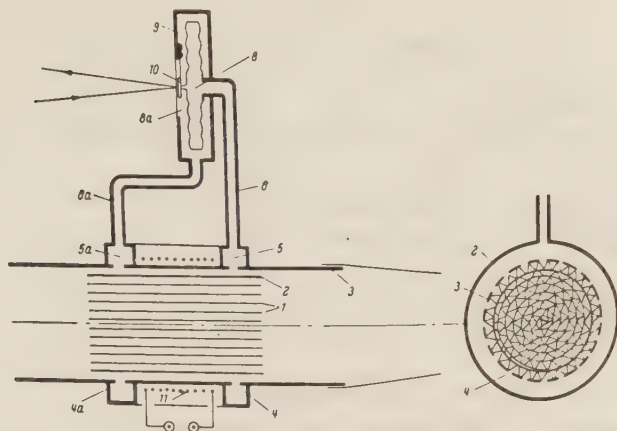


Abb. 9 Schematische Darstellung eines Pneumotachographen (nach Fleisch)

Im Pneumotachographenrohr beträgt der Widerstand $3,6 \text{ mm H}_2\text{O}$ pro $1/\text{sec.}$ und gewährleistet eine lineare Anzeige über einen Bereich von $0 - 15 \text{ l/sec.}$, so daß auch die größten Atemvolumina sicher erfaßt werden können.

Die Registrierung erfolgt unter BTPS-Bedingungen, da die Ausatemluft auf dem kurzen Weg von der Maske zum Pneumotachographenrohr nicht abkühlt. Der bei der Durchströmung des Pneumotachographenrohres entstehende Differenzdruck wird einer empfindlichen Druckwandlerdose zugeführt. In einem Analogrechner wird das Pneumotachogramm elektronisch integriert.

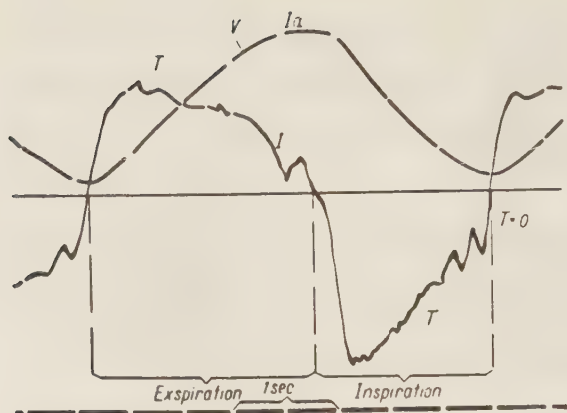


Abb. 10 Pneumotachogramm
(nach Fleisch)

Das Atemminutenvolumen (AMV) wird auf dem Direktschreiber in Form einer Treppenkurve aufgezeichnet, die nach Ablauf von 30 sec. auf Null zurückspringt. Danach bildet sich eine neue Treppenlinie. Unter Berücksichtigung des gewählten Meßbereiches und der Eichfaktoren kann damit das Atemminutenvolumen für jede halbe Minute auf Registrierstreifen abgelesen werden.

Die Berechnung des AMV erfolgt bei einer Eichung von $\pm 1 \text{ cm} = 6000 \text{ ccm}$ Luft nach der Formel

$$\text{AMV in ccm} = \frac{\text{mm}}{2} \times \text{Meßbereich} \times 12$$

Blockdiagramm zur Ergospirometrischen Messung im offenen System mit dem Gerät PNEUMOTEST

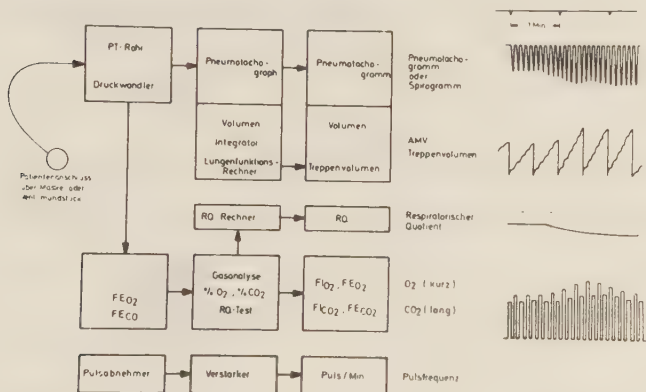
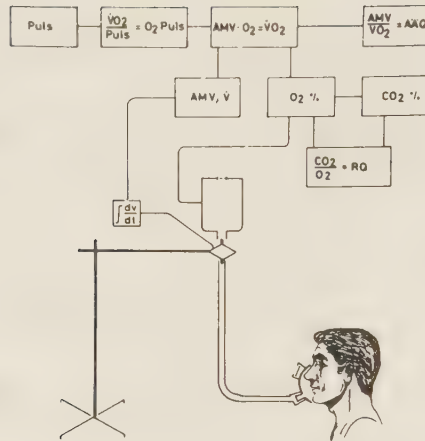


Abb. 11 Blockdiagramm zur Ergometrischen Messung im offenen System mit dem Gerät "PNEUMOTEST"



Anordnung zur Lungenfunktionsprüfung in Ruhe und bei Belastung mit einer Atemmaske gestattet die Bestimmung des

- 1.) Atemminutenvolumen, $AMV, \dot{V}$
- 2.) der Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_2 = \dot{V} \cdot O_2\% \cdot 0,01 \cdot KBS$
- 3.) Respiratorischen Quotienten $RQ = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$
- 4.) Atemäquivalentsquotient, $AAQ, \frac{\dot{V}}{\dot{V}O_2}$ bezw.
- 5.) O_2 Ausnutzung, $O_2A, \frac{\dot{V}O_2}{\dot{V}}$
- 6.) O_2 Puls

Abb. 12 Schematische Darstellung der Anordnung zur Lungenfunktionsprüfung

4. Atemfrequenz

In 30-Sekunden-Abständen konnten die Meßwerte für die Atemfrequenz durch einen Analog-Digital-wandler direkt verarbeitet und auf dem Registrierstreifen aufgezeichnet werden.

5. Atemzugvolumen

Das Atemzugvolumen ergibt sich als Quotient aus Atemminutenvolumen BTPS dividiert durch die ausgezählte Atemfrequenz für die Minute.

6. Sauerstoffaufnahme

Der Wert für die Sauerstoffaufnahme pro Minute STPD wird gebildet durch das Produkt aus Volumenprozent Sauerstoff (Gleich der Sauerstoffdifferenz von Expirations- zu Inspirationsluft) und aus dem Atemminutenvolumen STPD für die entsprechende Minute.

Die Registrierung der Volumenprozent Sauerstoff und Kohlendioxyd erfolgte mit dem Lungenfunktionsmeßplatz "Pneumotest" der Firma E. Jaeger, Würzburg, durch Gasanalyse nach dem Wärmeleitprinzip. Die ausgeatmete Luft wird nach Durchströmung des Pneumotachographenrohres in einer Mischkammer gesammelt. Das Mischgefäß ist in der Lage, sowohl bei Ruheatmung wie bei hoher Belastung jeweils

etwa 3 - 5 Einzelatemzüge aufzunehmen, d. h. in Ruhe 1 - 2 l, bei der Ergospirometrie 5 - 10 l. Aus der Mischkammer werden dann permanent Gasgemische dem angeschlossenen Gasanalysator zugeführt. Hierdurch wird eine laufende Registrierung des prozentualen O₂- und CO₂-Gehaltes der Expirationsluft ermöglicht.

Die Gesamtverzögerung bei der Registrierung beträgt insgesamt 30 Sekunden, bedingt durch Anzeigeverzögerung infolge Schlauchlänge (Zufuhrverzögerung) 20 Sekunden und durch die Zeitkonstante bei der Sauerstoffmessung 10 Sekunden.

Die Sauerstoff- und Kohlendioxydkonzentration werden als Potentialdifferenz zur Einatemungsluft unabhängig von der Umgebungstemperatur und dem Luftdruck nach der Wärmeleitmethode mit einer Genauigkeit von ± 0.1 Vol. % für CO₂ und O₂ gemessen.

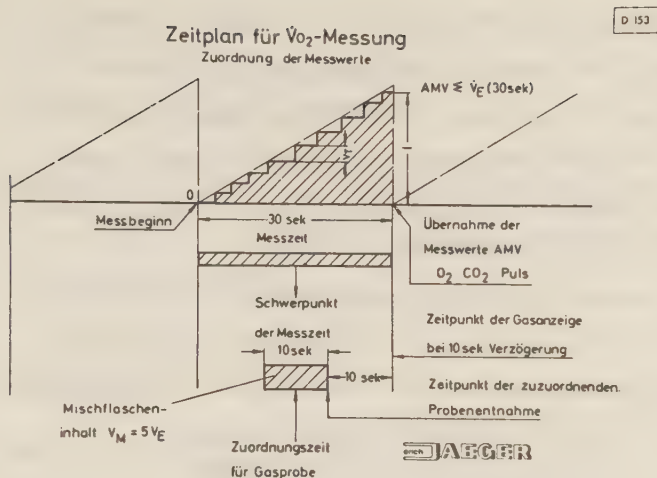


Abb. 13 Zeitplan für die Messung der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration

Die Reduktion der gemessenen Gasvolumina auf Standardbedingungen STPD erfolgt nach der Formel:

$$V_0 = V \times \frac{(PB - P_{H_2O}) \times 273}{760 \times (273 + t)}$$

Dabei ist:

V_0 = reduziertes Volumen (STPD)

V = gemessenes Volumen (BTPS)

PB = Barometerstand in mm Hg

P_{H_2O} = Sättigungsdruck des Wasserdampfes in mm Hg bei der gegebenen Temperatur

t = Temperatur in Grad Celsius

273 = 273 ° Kelvin

760 = 760 mm Hg

(GAUER, 11)

7. Sauerstoffpuls

$$\text{O}_2\text{-Puls} = \frac{\text{O}_2\text{-Aufnahme STPD}}{\text{Herzfrequenz}}$$

Der Wert der jeweiligen Sauerstoffaufnahme STPD für die Minute wird durch den entsprechenden Herzfrequenzwert dividiert.

8. Das Atemäquivalent (AAE)

$$\text{AAE} = \frac{\text{Atemminutenvolumen BTPS}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme STPD}}$$

Der Wert für das jeweilige Atemvolumen BTPS für die Minute wird durch den entsprechenden Sauerstoffaufnahmewert STPD dividiert. Die direkte Verarbeitung der Meßdaten erfolgt durch die on-line-Datenverarbeitung.

9. Respiratorischer Quotient (RQ) = Ventilations-RQ (VRQ)

$$\text{VRQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Ausscheidung STPD}}{\text{O}_2\text{-Aufnahme STPD}}$$

Der Wert für den Ventilations-RQ berechnet sich aus der Kohlendioxydausscheidung STPD dividiert durch die Sauerstoffaufnahme STPD für die jeweilige Minute. Im RQ-Computer werden die vom CO₂-

Test und O_2 -Test abgegebenen Daten direkt zum Respiratorischen Quotienten (RQ) verarbeitet.

Der metabolische RQ wird im Gegensatz zum VRQ nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Metabolischer RQ} = \frac{\text{CO}_2\text{-Produktion } \text{cm}^3 \text{ STPD}}{\text{O}_2\text{-Verbrauch } \text{cm}^3 \text{ STPD}}$$

Nach NOWACKI in MELLEROWICZ (39) ist die CO_2 -Produktion gleich der CO_2 -Ausscheidung und die O_2 -Aufnahme gleich dem Sauerstoffverbrauch nur bei Ruheatmung und eventuell bei Arbeiten im steady-state. Nur unter diesen Voraussetzungen entspricht der Wert des metabolischen RQ dem des ventilatorischen RQ. Sind Veränderungen der Ventilation oder des Stoffwechsels aber sehr groß, dann kommt es zwischen dem metabolischen und ventilatorischen RQ nicht mehr zum Ausgleich.

2. Spiroergometrische Untersuchungen am Fahrrad- und Laufbandergometer

a) Vorbereitende Untersuchungen vor den Belastungsversuchen

Alle Untersuchungen wurden unter Vita-maxima-Bedingungen durchgeführt.

Vor dem Test wurde bei jeder Versuchsperson eine Anamnese mit Leistungs- und Sportanamnese erhoben. Außerdem wurden die Rauch- und Trinkgewohnheiten der Probanden sorgfältig registriert.

Dann wurden Gewicht, Größe und Vitalkapazität gemessen. Danach schloß sich eine eingehende klinisch-internistische Untersuchung sowie eine Beurteilung des Haltungs- und Bewegungsapparates an.

Außerdem wurde bei jedem Probanden ein Ruhe-EKG in den Ableitungen I, II, III nach Einthoven, aVR, aVL und aVF nach Goldberger und $V_1 - V_6$ nach Wilson geschrieben.

Auf einem eigens für unsere Zwecke ausgerichteten Anamnese- und Untersuchungsbogen (siehe Abbildung 15) wurden vorgenannte Befunde registriert.

Lizenziertes
Sportmedizinisches Untersuchungsbogen
Leitung
Hauptberatungsstelle der Stadt
Gießen
Leitung Prof. Dr. med. F.H. Nowacki
Facharzt für Innere Medizin, Sportmedizin

63 Gießen
Lugenberg 52
Tel.: 0641/7022793

Sportärztlicher Untersuchungsbogen

Name: Vorname: geb.: ..11.1.1947..
Anschrift: 6301 Dörflar, Sonnenstr. 26 Tel.: 61 577
Uml./Arbeitsstelle: Gießen Beruf: Student
Verein: SG Waldgirmes Hausarzt: Dr. Kuhlmann - Dörflar

Hauptsportart: Fußball
Training pro Woche: 2 x Std./Woch. : Training ca. 5
Std.: Std.: Spiel 1 1/2 Std.

Beschwerden beim Sport und Sportverletzungen:
keine

Anamnese
Gewicht: 60 kg Größe: 182 cm Vitalkapazität:
6000 cm

Herr: Herztöne rein, Heraktion regelmäßig, Ruhe - EKG ohne
pathologischen Befund
Lunge: o. B.
Kreislaufbeschwerden: keine

Halbungs- und Bewegungsapparat:
Thorax: o. B. Becken: o. B.
Hirbelwirbelsäule: o. B. Extremitäten: Varizen an beiden
unteren Extremitäten
Varizen an beiden unteren Extremitäten
Besondere Befunde:
kein Nikotin- und Alkoholkonsum

Datum: 4.8.76

Abb. 15 "Sportärztlicher Untersuchungsbogen" modifiziert im Sinne einer orientierenden anamnestischen und klinischen Untersuchung der Versuchspersonen für die vorliegende Arbeit

Die Auswahl der Untersuchungsmethodik erfolgte nach den Standardisierungsvorschlägen zur ergometrischen Leistungsmessung, wie sie bei der Taugung des Forschungskomitees des ICSPE zur internationalen Standardisierung der Ergometrie während des 16. Weltkongresses für Sportmedizin am

14.06.1966 in Hannover vereinbart wurden,
MELLEROWICZ (39).

Der Meßplatz setzte sich zusammen aus dem Fahrradergometer "Ergotest" der Fa. E. Jaeger, dem Lungenfunktionsmeßplatz mit angeschlossener Datenverarbeitung und Direktschreiber, bestehend aus den Einheiten "Ergo-Pneumotest" und "Dataspir" der Fa. E. Jaeger, Würzburg und "Editor 456" und "P 652" der Fa. Olivetti und dem EKG-Registriergerät "multiscriptor EK 26" der Fa. Hellige, Freiburg.

b) Ergometrische Belastungsuntersuchung
auf dem Fahrradergometer im Sitzen

Nach Erhebung der Anamnese und Abschluß der klinisch-internistischen Untersuchung, wurden die Probanden über die physische und psychische Belastung und über die Funktionsweise des Fahrradergometers unterrichtet. Durch die Unterweisung sollten überschießende psychische Reaktionen der Probanden vermieden werden.

Die Versuchspersonen trugen während des Tests kurze Hosen und hatten Turnschuhe an.
Bevor sich die Probanden auf das Fahrradergometer setzten und die optimale Sattelhöhe eingestellt

war, wurde ihnen eine Halbmaske mit einem 1,2 m langen Schlauch, welcher an das Meßsystem angeschlossen war, so angepaßt, daß keine Luft nach außen entweichen konnte.

Zur Bestimmung des EKG's und der Herzschlagfrequenz wurde den Probanden ein elastisches Gummiband um den Thorax gebunden. Die Elektroden mit den Ableitungspunkten $V_4 - V_6$ sowie die vier Extremitätenableitungen, welche mit dem EKG-Gerät verbunden waren, wurden an dem "Thorax-Gummiband" befestigt. Um unter "Ruhebedingungen" zu beginnen und eine Hyperventilation der Probanden zu vermeiden, wurde in der Erwartungsphase bis zum Beginn der Messungen 2 - 4 Minuten gewartet.

Bevor der Belastungstest auf dem Fahrradergometer im Sitzen begann, wurde der Ausgangs-Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen und die Ausgangswerte der zu bestimmenden Parameter registriert.

Die Fahrradergometerarbeit im Sitzen wurde von den Probanden nach der Methode von NOWACKI (49) geleistet. Dabei erfolgte eine gewichtsbezogene Belastung, wobei die Belastung beginnend bei 1 Watt/kg alle zwei Minuten um jeweils 1 Watt/kg bis zur Erschöpfung der Probanden gesteigert wurde. Dieses Belastungsverfahren bietet den Vorteil,

daß es sowohl eine rasche zeitliche Ausbelastung als auch eine genaue Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit ermöglicht.

Während der Belastung waren die Versuchspersonen jederzeit in der Lage, ihre Wattleistung und optimale Umdrehungszahl über Kontrollanzeiger abzulesen.

Mit den Ableitungen I, II und III nach Einthoven und V_4 , V_5 und V_6 nach Wilson registrierten und beobachteten wir die elektrokardiographischen Kurven fortlaufend auf einem Oszilloskop. Die Herzschlagfrequenz der Versuchspersonen wurde jeweils zwischen der 50. und 60. Sekunde jeder Minute in der schon beschriebenen Weise aus dem EKG ermittelt.

Während der Fahrradergometerbelastung wurden die anfallenden Meßdaten über einen Analog-Digitalwandler in der on-line Datenverarbeitung und durch die in Abständen von 30 und 60 Sekunden numerischen Datenausgabe einer modernen Computer-Ergometrie registriert.

Nach der ersten Minute der beiden submaximalen Belastungsstufen (1 Watt/kg und 2 Watt/kg) auf dem Fahrradergometer konnte der submaximale Leistungsblutdruck nach Riva-Rocci auskultatorisch ermittelt werden. Danach war es aus ver-

suchstechnischen Gründen nicht mehr möglich, da der Proband seinen rechten Arm kontinuierlich wegen der ansteigenden Belastung an der "Lenkstange" festhalten mußte.

Die Beendigung der Belastung erfolgte von den Versuchspersonen selbst nach subjektiven Kriterien der Erschöpfung oder erfolgte von den Untersuchern, welche sich nach den Empfehlungen von MELLEROWICZ (39) zur Einschätzung der objektiven Erschöpfungskriterien (z. B. VRQ über 1,0, maximale Hf, klinisches Bild der Erschöpfung) orientierten.

Nach der Belastungsphase auf dem Fahrradergometer schloß sich eine 5-Minuten-Erholungsphase an. Während der Erholungsphase konnte der Blutdruck in jeder Minute auskultatorisch nach Riva-Rocci ermittelt werden.

Abhängig von der Leistung, die die Probanden auf dem Fahrradergometer erbrachten, wurden sie in eine trainierte und untrainierte Gruppe eingestuft, worauf später noch genauer eingegangen wird.

c) Ergometrische Belastungsuntersuchung
auf dem Laufband

Zwischen den beiden Belastungsuntersuchungen auf dem Fahrrad- und Laufbandergometer lag für jeden Probanden eine Zeitspanne von mindestens einer Woche. Die Laufbandbelastung erfolgte auf dem Hochleistungslaufbandergometer "Laufergotest" der Fa. Jaeger, Würzburg.

Bevor sich die Versuchspersonen der Laufbandergometerbelastung unterzogen, wurden sie eingehend über die Funktionsweise des Laufbandergometers unterrichtet. Nachdem den Probanden die Halbmaske mit dem Atemschlauch, welcher mit dem Meßplatz verbunden war, angepaßt war und das "Thorax-Gummiband" mit den Elektroden angelegt wurde, erfolgte die Messung der Ruhewerte der zu bestimmenden Parameter sowie die Registrierung des Ruhe-Blutdrucks auskultatorisch nach Riva-Rocci im Stehen.

Für die Ruhephase am Beginn der Belastung galten für alle Probanden die gleichen Bedingungen wie bei der Untersuchung auf dem Fahrrad. Auch hier, bei der Laufbandergometerbelastung, wurde die Untersuchung erst dann begonnen, als sich unsere Meßgrößen auf normale Ruhewerte eingespielt bzw. diesen genähert hatten.

Bei der Laufbandergometeruntersuchung wurden die Extremitätenableitungen I, II und III nach Einthoven und das indifferente Kabel (Erdungskabel) sowie die Brustwandableitungen $V_4 - V_6$ nach Wilson verwandt.

Vorgenannte Ableitungen waren an einem "Thoraxgummiband" befestigt. Somit waren von links nach rechts, beginnend bei der Herzspitze zirkulär befestigt, V_4 , V_5 , V_6 nach Wilson und I, II, III sowie das Erdungskabel nach Einthoven.

Mit Hilfe der Ableitungen registrierten wir die Herzaktionen der Probanden während der Belastungs- und Erholungsphasen.

Den zuverlässigen Sitz der Elektroden während der gesamten Versuche sicherten wir durch besonders spannungsfreie Führung der Elektrodenkabel, während das "Elektroden-Thoraxgummiband" im Sinne einer "Hosenträger-Befestigung" stabilisiert wurde.

Die Belastung auf dem Laufband für alle 3 Vergleichsgruppen erfolgte ebenfalls durch ein körpergewichtsbezogenes Belastungsverfahren, wenn auch in Bezug auf Anfangswattstufe und Versuchsablauf zwischen den beiden Gruppen der Untrainierten und Trainierten einerseits und der Gruppe der Leistungssportler andererseits unterschiedlich vorgegangen wurde.

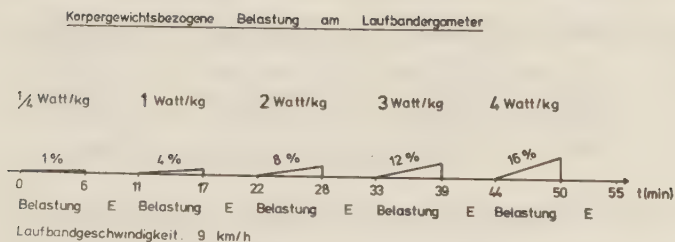


Abb. 16 Schematische Darstellung der Laufbandbelastung mit den jeweiligen prozentualen Steigungen bei einer Geschwindigkeit von 9 km/h

Die Lauffläche des Laufbandes gab allen Probanden in allen Belastungsstufen die gleiche Geschwindigkeit von 9 km/h vor. Steigende Belastungen wurden dadurch erzielt, daß die Steigung des Laufbandes erhöht wurde, und zwar in folgender Weise:

Trainierte und Untrainierte

I.	Stufe	9 km/h	1 % Steigung = 1/4 Watt/kg
II.	Stufe	9 km/h	4 % Steigung = 1 Watt/kg
III.	Stufe	9 km/h	8 % Steigung = 2 Watt/kg
IV.	Stufe	9 km/h	12 % Steigung = 3 Watt/kg

Leistungssportler

I.	Stufe	9 km/h	4 % Steigung	1 Watt/kg
II.	Stufe	9 km/h	8 % Steigung	2 Watt/kg
III.	Stufe	9 km/h	12 % Steigung	3 Watt/kg
IV.	Stufe	9 km/h	16 % Steigung	4 Watt/kg
V.	Stufe	9 km/h	20 % Steigung	5 Watt/kg

Die Belastungsdauer betrug in jeder Stufe 6 Minuten. Während bei den Leistungssportlern nach diesen 6 Belastungsminuten in die nächste Belastungsstufe geschaltet wurde, die Versuchspersonen also ununterbrochen laufen mußten, schloß sich bei den Normalpersonen an jede Belastungsstufe eine 5-minütige Erholungsphase an. In den ersten beiden Minuten jeder Erholungsphase ließen wir den Probanden noch mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h gehen, um orthostatische Regulationsstörungen zu vermeiden. Die letzten drei Erholungsminuten verbrachten die Probanden auf einem Hocker sitzend auf dem Laufband. Während der Erholungsphasen wurden zusätzlich zu den anderen Meßwerten noch der Blutdruck nach Riva-Rocci auskultatorisch am Ende einer jeden Erholungsminute gemessen.

Während der 6-Minuten-Belastungsperioden konnten aus versuchstechnischen Gründen keine Blutdruckwerte registriert werden.

Wie bei der Fahrradergometriearbeit wurde auch die Herzschlagfrequenz der Versuchspersonen mit einer standardisierten Meßplatte aus dem Abstand von drei Herzaktionen gemessen. Die Herzschlagfrequenz wurde gleichzeitig kontinuierlich jede volle Minute vom EKG-Dreifachschreiber (Fa. Hellige) und durch den Computer-Meßplatz (Fa. Jaeger) registriert und sofort ausgewertet.

Zwischen beiden Methoden ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung (Schwankungsbreite ± 2 Hf).

Blutdruck, Herzschlagfrequenz, Daten des jeweiligen Probanden und Bemerkungen über den Versuchsablauf wurden auf einem speziellen Laufband-Spiroergometriebogen festgehalten (Abb. 17).

Laufband-Spiroergometrie

Name : Vorname : geb. : 0.9.1951
Gewicht : 65,2 kg Größe : 177 cm Datum : 24.1.1977

Zeit/min.: HR HF/EEG Geschwindigkeit Stadi- Leistung/
mm Hg km/Std. gung Watt

Ruhe		120/80	117			
	1		127	y ka/Std.		
	2		147	"		
	3		168	"	1 s	1/4 Watt/kg.
	4		165	"		
	5		160	"		
	6		164	"		
	7	180/110	187			
Ruhe	2	160/80	156			
	3	150/80	150			
	4	140/80	126			
	5	140/80	126			
	6					
	7		158	"		
	8		174	"	4 s	1 Watt/kg.
	9		173	"		
	10		174	"		
	11		180	"		
	12		181	"		
	13	180/80	185			
Ruhe	2	160/80	143			
	3	160/80	155			
	4	150/80	125			
	5	140/80	145			
	6					
	7		177	"		
	8		185	"	8 s	2 Watt/kg.
	9		186	"		
	10		188	"		
	11		188	"		
	12		191	"		
	13	200/110	172			
Ruhe	2	190/110	152			
	3	180/110	147			
	4	150/80	145			
	5	140/80	128			
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11				12 s	3 Watt/kg.
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
	22					
	23					
	24					
Ruhe	2					
	3					
	4					
	5					

Bezeichnungen : Bedingt durch das subjektive Befinden des Probanden, sowie die hohen Werte z. Bsp. bei HR, AMV, RQ usw. mußte die Laufband-ergometerarbeit bei 2 Watt/kg abgebrochen werden.

Abb. 17 Spezieller Laufband-Spiroergometriebogen über das Verhalten des Blutdrucks, der Herzschlagfrequenz sowie Bemerkungen über den Versuchsablauf

Auch für die Beendigung der Laufbandergometerarbeit wandten wir die gleichen Kriterien an wie bei der vorangegangenen Versuchsserie auf dem Fahrradergometer.

Die anfallenden Meßdaten wurden wie bei der Fahrradergometerbelastung über einen Analog-Digitalwandler und den Computer-Meßplatz festgehalten.

Die Auswertung der zu bearbeitenden Parameter wurde auf einer Wertetabelle nach NOWACKI festgehalten (Abb. 18).

Maximale Spiro-Ergometrie am Laufband (Pneumotelegraphisch)																	
NAME		Geb. 8.3.46		Untersuchungstag 14.8.76		Leitdruck 744 mm Hg		Untersuchungslabor									
VORNAME		Größe 169 cm		Ort Gießen		Temp 24°C		STPD 10' : 0.8134									
VEREIN SC Waldg. (mst)		Gewicht 70 kg		Vollkapazität 3500 ml		rel. Luftfeuchtigkeit 54%		BSPS (37°):									
Zeit	Wort	RR	MI	O ₂	CO ₂	BO	AMV ml/min	AMV l/min	O ₂	CO ₂	O ₂	AA	AI	AI ₂ ml/min	O ₂	ERG	
0	Ruhe	140/90	86	3.44	9.84	0.88	3.0	0.014	90	440	4.07	3.79	38.2	83	39.1		
1	18.5	172	2.40	3.04	0.87	16.3	0.094	39.6	1144	9.76	6.62	35.2	44	82.3			
2	18.5	176	3.00	3.86	1.12	31.5	0.174	98.8	2210	24.60	16.55	43.0	56	16.57			
3	18.5	177	2.88	3.30	1.49	36.3	0.205	113.0	2540	3.053	14.36	44.5	60	18.83			
4	18.5	182	3.76	3.16	1.49	34.9	0.192	112.0	2440	24.04	13.46	46.3	62	18.82			
5	18.5	182	2.74	3.00	1.44	36.1	0.197	110.9	2320	3.733	11.84	46.0	64	18.41			
6	18.5	183	2.64	2.66	1.11	55.3	0.154	117.6	2472	23.24	12.47	47.6	64	17.66			
7	140/70	143	3.04	3.06	1.01	29.1	0.205	81.4	2640	10.43	41.14	40.5	46	17.04			
8	170/70	120	2.68	3.02	1.26	40.1	0.116	48.4	900	11.89	6.16	48.9	37	13.08			
9	150/120	117	2.84	2.80	1.34	9.4	0.063	37.4	640	8.51	5.47	57.8	35	10.08			
10	140/150	103	2.84	2.55	1.36	6.6	0.069	29.9	960	6.77	4.46	64.7	32	9.44			
11	140/150	107	2.66	2.58	1.21	7.4	0.078	30.0	520	6.24	4.85	57.8	24	9.67			
12	70	162	2.34	4.50	1.15	16.2	0.104	60.8	1110	11.38	7.22	53.5	54	11.87	3.44	0.2 in 5.8.4.	
13	70	179	2.60	4.91	0.91	32.9	0.186	95.8	2100	2.88	11.06	44.5	60	15.76			
14	70	181	2.12	4.75	0.95	39.6	0.191	105.0	2480	1.74	11.37	41.4	60	17.50			
15	70	182	2.74	3.78	1.04	36.9	0.196	116.2	2580	16.67	11.72	45.0	65	17.71			
16	140/70	146	2.58	3.58	1.01	32.7	0.221	74.6	2240	23.17	15.47	44.7	44	14.05			
17	170/70	138	2.44	3.68	1.16	16.3	0.137	61.8	1440	12.24	8.90	44.7	32	14.00			
18	150/100	130	2.70	3.16	1.10	9.9	0.083	30.4	700	7.63	5.83	43.4	34	9.70			
19	140/80	144	2.44	2.60	1.09	6.2	0.053	23.0	440	5.23	3.85	52.4	26	8.84			
20	140/80	143	2.60	2.84	1.12	6.8	0.064	23.0	480	5.84	4.28	44.6	25	9.10			
21															3.86	0.2 in 5.8.4.	
22																	
23																	
24																	
25																	

Abb. 18 Vollständige Wertetabelle einer maximalen Spiroergometrie nach NOWACKI

IV. Kritik der Methodik

Spiroergometrische Untersuchungen sind objektiv, leicht reproduzierbar und für den Probanden unschädlich. Sie sind daher für die Bestimmung der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit sehr geeignet.

Wir haben uns bemüht bei unseren Untersuchungen die Standardisierungsvorschläge des Kuratoriums für sportmedizinische Forschung streng einzuhalten (MELLEROWICZ, 40). Zwar konnten wegen der großen Anzahl und der Länge der Untersuchungen nicht alle Tests am gleichen Tag bzw. zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden, trotzdem ist auf Grund der breitgestreuten Untersuchungstermine und des großen Untersuchungsgutes kein wesentlicher Verlust der Aussagekraft unserer Ergebnisse anzunehmen.

Vor den Untersuchungen wurden alle Probanden genau über den Untersuchungsverlauf informiert und beruhigt. Obwohl wir vor die Untersuchungen eine relativ lange Ruhemeßperiode legten, konnten nicht alle Probanden ihre Nervosität völlig ablegen, so daß sowohl ein geringer Hyperventilationseffekt, als auch eine geringe Erhöhung der Ruheherzfrequenz registriert wurden. Dies sahen wir nicht als entscheidenden Störfaktor an, obwohl auch eine geringfügige Erhöhung der Ruheherzfrequenz zu nied-

rigeren Arbeits- und Erholungspulssummen führt. Da die Laufbanduntersuchungen äußerst kreislaufbelastend sind, begannen wir diese Untersuchungen bei einer Belastungsstufe von 1/4 Watt/kg. Trotz dieser relativ niedrigen Belastung reagierten einige Probanden schon mit einem derart hohen Herzfrequenzanstieg, daß die rechnerische Bestimmung der PWC_{170} für diese Probanden irrelle Werte liefern mußte. Diese Werte gingen bei der Ermittlung der durchschnittlichen PWC_{170} nicht in den errechneten Mittelwert ein.

Eine gewisse Fehlerbreite ist bei der Blutdruckmessung nach Riva-Rocci zu erwarten. Nach ANSCHÜTZ (2) werden durch die unterschiedliche Dicke der Oberarme unserer Versuchspersonen, sowie durch ein Mißverhältnis von Oberarmdicke und Manschettenbreite zu hohe Blutdruckwerte registriert. Während körperlicher Belastung wird vor allem der diastolische Druck 20 - 30 mm Hg zu niedrig gemessen, dagegen ist der systolische Druck auch während der Belastung ziemlich genau abzulesen.

Die Sauerstoffaufnahmewerte sind durch Umrechnung auf Standardbedingungen STPD korrigiert worden.

V. Statistische Beurteilung der Ergebnisse

Für die Gruppen der Untrainierten, Trainierten und Hochleistungssportler wurden bei allen gemessenen Parametern

1. der Mittelwert M und die Standardabweichung s für jede Minute des Versuchs bei der Fahrrad- und Laufbandergometrie aus den Minutenwerten der einzelnen Personen X_n und
2. aus den Maximalwerten der Personen die Mittelwerte der Maximalwerte für beide Belastungsarten errechnet:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{i=n} x_i \cdot \frac{1}{n}$$
$$s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \frac{1}{n-1}}$$

Die durchschnittlichen Maximalwerte einer Gruppe bei der Fahrrad- und der Laufbandergometrie wurden nach der t-Verteilung (nach Student) für paarige Stichproben statistisch verglichen (SACHS (67); WALTHER (72)).

$$t = \frac{|\bar{d}|}{s_{\bar{d}}} \cdot \sqrt{n}$$

$$d_i = x_i - y_i$$

$$\bar{d} = \sum d_n \cdot \frac{1}{n}$$

$$s_{\bar{d}} = \sqrt{\left(\sum d^2 - (\sum d)^2 \cdot \frac{1}{n} \right) \cdot \frac{1}{n(n-1)}}$$

Der Freiheitsgrad f beträgt $n - 1$.

Für den Vergleich der mittleren Maximalwerte der verschiedenen Gruppen bei einem Belastungsverfahren wurde der t-Test (nach Student) für unpaarige (unabhängige) Stichproben angewandt.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \quad s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$\bar{x}_1 = \sum x_{1i} \frac{1}{n} \quad \bar{x}_2 = \sum x_{2i} \frac{1}{n}$$

Der Freiheitsgrad f beträgt $n_1 + n_2 - 2$.

Dabei wurden anhand der Irrtumswahrscheinlichkeit p folgende Signifikanzschwellen vorgegeben (WALTHER, 72):

$p > 0,05$	: nicht signifikant
$0,05 > p > 0,01$	: wahrscheinlich signifikant
$0,01 > p > 0,001$	: sicher signifikant
$0,001 > p$	: hoch signifikant

Wenn kenntlich gemacht werden soll, daß der Mittelwert einer Gruppe nicht durch Einzelwerte der ganzen Gruppe, sondern durch eine geringere Zahl n dieser Gruppe errechnet worden ist, so wird diese Zahl n in Klammern hinter dem betreffenden Mittelwert angegeben.

Zeichenerklärung:

x = Einzelwert

n = Anzahl der Einzelwerte

M = Mittel- bzw. Durchschnittswert

s = Standardabweichung bzw. mittlere Abweichung vom Mittelwert

s_d = Sigma-Differenz

t = t -Verteilung nach Student

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

VI. Ergebnisse

1. Wattleistung und Belastungszeit

Die Abbildung 19 zeigt die durchschnittlichen Wattleistungen und die Belastungszeiten der verschiedenen Vergleichsgruppen. Unter der Wattleistung ist der durchschnittliche Maximalwert der Gesamtarbeit in Wattminuten zu verstehen.

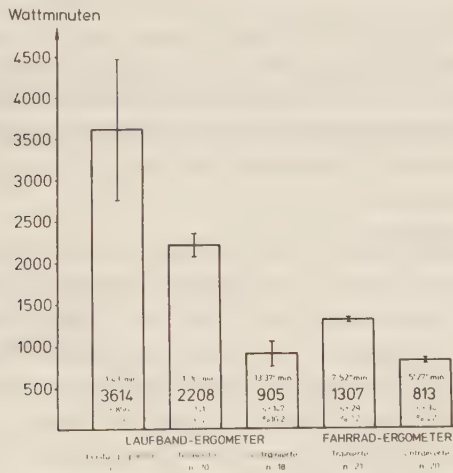


Abb. 19 Mittlere Maximalwerte in der Gesamtarbeit in Wattminuten (Wattleistung) mit den absoluten und prozentualen Standardabweichungen s , sowie der mittleren Belastungszeit bei der Laufband- und Fahrradergometrie der verschiedenen Vergleichsgruppen.

Wie aus der Darstellung hervorgeht, erreichten die Leistungssportler mit 3614 Wattminuten die

höchste Leistung. Ihre durchschnittliche Belastungszeit lag bei 21,7 Minuten.

Die untrainierten Normalpersonen konnten die durchschnittliche Wattleistung von 813 Wattminuten am Fahrradergometer auf 905 Wattminuten bei der Laufbanduntersuchung steigern. Diese Steigerung ist aber statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Demgegenüber konnten die Trainierten die mittlere Fahrradleistung von 1307 Wattminuten auf 2208 Wattminuten am Laufband steigern, was einen statistisch sicher signifikanten Unterschied bedeutet ($0,001 < p < 0,01$).

Ein Vergleich hinsichtlich ihrer Wattleistung am Fahrrad und am Laufbandergometer ergibt für beide Vergleiche einen statistisch hoch signifikanten Unterschied zugunsten der Gruppe der trainierten Versuchspersonen.

Erwartungsgemäß konnten die trainierten Versuchspersonen, die ja bei der Fahrradergometrie wenigstens eine Minute eine Leistung von 4 Watt/kg erbracht hatten, auch bei der Untersuchung am Laufbandergometer länger arbeiten. Die durchschnittliche Belastungszeit der Trainierten (Untrainierte in Klammern) betrug am Fahrrad 7,4 min (5,5 min) und am Laufband 21,1 min (13,6 min).

Der Unterschied in der durchschnittlichen Belastungszeit ist bei beiden Belastungsarten hoch signifikant, da $p < 0,001$.

Die durchschnittliche Arbeitsdauer der Skilangläufer war 21,7 min.

Ein statistischer Vergleich ist hier auf Grund der unterschiedlichen Methodik - die Skilangläufer wurden durchgehend, ohne Erholungsphasen am Ende jeder Belastungsstufe, getestet - nicht sinnvoll.

2. Blutdruck

In den folgenden Abbildungen sind die Mittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks der jeweiligen Probandengruppen vor, während und nach maximaler Fahrradergometerarbeit dargestellt.

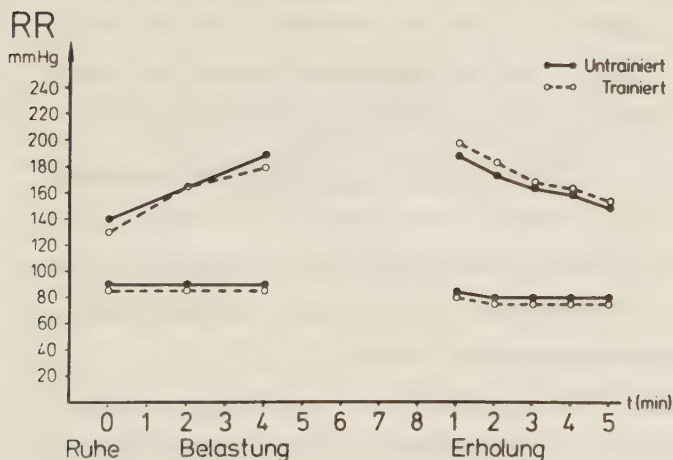


Abb. 20 Mittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks der trainierten und untrainierten Gruppe vor, während und nach maximaler Fahrradergometerarbeit

Der mittlere in der Ruhephase gemessene Blutdruck lag bei der untrainierten Gruppe bei 140/90 mm Hg. Die trainierte Gruppe hatte einen durchschnittlichen Ruhe-Blutdruckwert von 130/85 mm Hg.

Der in der 2. Minute während der ersten Leistungsphase auf dem Fahrradergometer gemessene submaximale Blutdruck ergab für beide Gruppen annähernd gleiche Blutdruckwerte. Bei der trainierten Gruppe wurden Drucke von durchschnittlich 165/90 mm Hg und bei den untrainierten Probanden Drucke von durchschnittlich 165/85 mm Hg registriert.

In der 4. Minute der zweiten Belastungsphase auf dem Fahrradergometer erreichte die untrainierte Gruppe einen mittleren Blutdruckwert von 190/90 mm Hg, während bei der trainierten Gruppe ein mittlerer Blutdruck von 180/85 mm Hg gemessen wurde.

In der 1. Erholungsminute nach maximaler Belastung wurde bei der trainierten Gruppe ein mittlerer Blutdruck von 200/80 mm Hg registriert, während bei der untrainierten Gruppe ein mittlerer Blutdruck von 190/85 mm Hg ermittelt wurde.

Zwischen der 2. und 5. Minute der Erholungszeit kommt es zu einem Absinken des systolischen Blutdrucks, während der diastolische Druck konstant bleibt.

In der 5. Erholungsminute registrierten wir für die Trainierten einen mittleren Blutdruckwert von

155/75 mm Hg und für die Untrainierten einen Druckwert von 150/80 mm Hg.

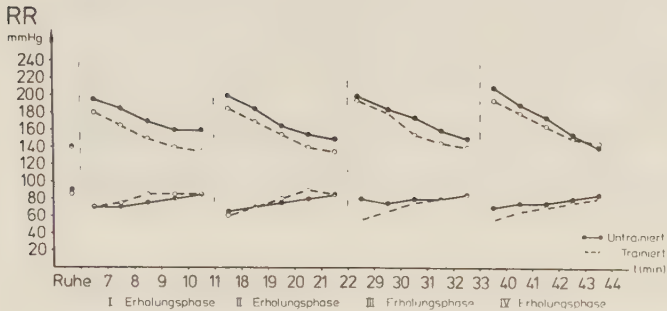


Abb. 21 Mittelwerte des systolischen und diastolischen Blutdrucks der trainierten und untrainierten Gruppe vor der Belastung und während der Erholungsphasen I - IV auf dem Laufbandergometer

Wie aus Abbildung 21 ersichtlich, ergeben sich hinsichtlich des Ruhe-Blutdrucks zwischen der trainierten und der untrainierten Gruppe keine signifikanten Unterschiede. Der Ruheblutdruck der Trainierten belief sich auf 140/85 mm Hg und für die Untrainierten auf 140/90 mm Hg.

Nach der ersten Belastungsphase auf dem Laufbandergometer ergaben sich in der 1. Minute der I. Erholungsphase für die trainierte Gruppe Blutdruck-

werte von 180/70 mm Hg und für die untrainierte Gruppe Druckwerte von 195/70 mm Hg. Zwischen der 2. und 5. Minute der I. Erholungsphase kommt es zu einem Absinken der systolischen Blutdruckkurve, während der diastolische Druck bei beiden Gruppen leicht ansteigt. In der 5. Erholungsminute der I. Erholungsphase erreicht die trainierte Gruppe mittlere Blutdruckwerte von 135/85 mm Hg, während die untrainierten Probanden 160/85 mm Hg erreichten.

Nach Beendigung der zweiten Belastungsphase auf dem Laufbandergometer wurde in der II. Erholungsphase in der 1. Minute für die trainierte Gruppe ein mittlerer Blutdruckwert von 185/75 mm Hg und für die Untrainierten ein Druckwert von 200/65 mm Hg ermittelt. Zwischen der 2. und 5. Minute der II. Erholungsphase sinkt die systolische Blutdruckkurve beider Gruppen linear ab, während sich die diastolischen Druckwerte beider Gruppen nur unwesentlich voneinander unterscheiden. In der 5. Minute der II. Erholungsphase wurde bei den Trainierten ein mittlerer Blutdruck von 135/85 mm Hg und bei den Untrainierten ein mittlerer Blutdruck von 150/85 mm Hg gemessen.

Nach der dritten Belastungsphase auf dem Laufbandergometer erzielte die trainierte Gruppe in der 1. Minute der III. Erholungsphase einen mittleren

Blutdruckwert von 195/55 mm Hg und die Untrainierten 200/80 mm Hg. Zwischen der 2. und 5. Minute der III. Erholungsphase fällt die systolische Blutdruckkurve beider Gruppen ab. Die diastolische Blutdruckkurve der Trainierten liegt unter der Kurve der Untrainierten. Beide Gruppen erzielten aber in der 4. und 5. Minute der III. Erholungsphase gleiche diastolische Druckwerte. In der 5. Minute der III. Erholungsphase registrierten wir für die trainierte Gruppe einen mittleren Blutdruckwert von 140/85 mm Hg und für die Untrainierten einen Blutdruckwert von 150/85 mm Hg.

Nach Bewältigung der vierten Belastungsphase auf dem Laufbandergometer erreichten die Trainierten in der 1. Minute der IV. Erholungsphase einen mittleren Blutdruck von 195/55 mm Hg, während bei den Untrainierten ein Druckwert von 210/70 mm Hg gemessen wurde. Zwischen der 2. und 5. Minute der IV. Erholungsphase kommt es zu einem Absinken der systolischen Blutdruckkurve beider Gruppen. Sowohl der mittlere systolische, als auch der mittlere diastolische Blutdruck der Untrainierten liegt über der Kurve der Trainierten. Lediglich in der 5. Erholungsminute erreicht der systolische Wert der Trainierten einen minimal höheren Wert. In der 5. Minute der IV. Erholungsphase wurde bei den Trainierten ein mittlerer Blutdruck von

145/80 mm Hg und bei den Untrainierten ein Druck von 140/85 mm Hg gemessen.

Abschlußbemerkung: Wie zu erwarten, lagen die RR-Werte der untrainierten Gruppe in der 5. Erholungsminute in den Erholungsphasen I - III höher als bei der trainierten Gruppe. Die Umkehrung dieses Verlaufes in der IV. Erholungsphase hängt mit der größeren erbrachten Leistung der trainierten Gruppe in der IV. Belastungsstufe zusammen.

Blutdruckwerte in mmHg bei Hochleistungssportlern
vor und nach maximaler Laufbandergometerarbeit

Name	Ruhe-RR	RR in 5-Minuten Erholungsphase				
		1	2	3	4	5
J.G.	130/70	220/20	210/20	180/30	170/40	160/60
K.H.	130/80	220/20	180/30	180/30	160/60	150/80
J.W.	120/80	190/20	180/30	170/30	160/70	140/80
G.H.	130/90	190/20	180/30	170/40	160/50	140/60
J.B.	140/90	220/20	190/30	190/40	180/40	150/50
G.T.	170/80	200/40	180/50	160/50	160/70	150/70
W.S.	140/90	190/40	190/40	170/50	150/70	140/80
$\bar{x}$	140/85	200/25	190/35	175/35	160/55	150/70

Tab. 3 Blutdruckwerte bei Leistungs-
sportlern vor und nach maximaler
Laufbandergometerarbeit

Wie aus Tabelle 3 zu entnehmen ist, beträgt der mittlere Ruhe-Blutdruck der Leistungssportler

* Beim Zustandekommen der z. T. sehr niedrigen diastolischen Werte nach der Laufbandergometerbelastung sind methodische Einflüsse anzunehmen.

140/85 mm Hg. Der höchste Ruheblutdruckwert wurde bei der Versuchsperson G. T. mit 170/80 mm Hg gemessen (geringster Trainingsumfang). *

Nach maximaler Laufbandergometerarbeit erreichte die Gruppe der Leistungssportler in der 1. Minute der Erholungsphase einen mittleren Blutdruckwert von 200/25 mm Hg. Die mittleren Blutdruckwerte sinken dann zwischen der 2. und 5. Minute der Erholungsphase ab und nähern sich in der 5. Minute mit einem Blutdruckwert von 150/70 mm Hg annähernd dem mittleren Ruheblutdruckwert.

3. Atemminutenvolumen, Atemfrequenz und Atemzugvolumen

In den Abbildungen 22 bis 25 ist das Verhalten der drei Atemgrößen (AMV, Af und AZV) bei der Fahrrad- und Laufbandergometerbelastung dargestellt.
(Einzelne Minutendurchschnittswerte siehe Tabellenteil im Anhang.)

Atemminutenvolumen:

Die Abbildung 22 zeigt das Verhalten des AMV der Gruppen der Untrainierten und Trainierten bei der Fahrradergometrie in steigenden Wattstufen.

* Dieser unphysiologisch hohe Wert muß in Zusammenhang mit der, trotz langer Vorbereitung und ständiger Beruhigung vor dem Test, nicht völlig auszuschaltenden psycho-emotionalen Belastung des Probanden gesehen werden.

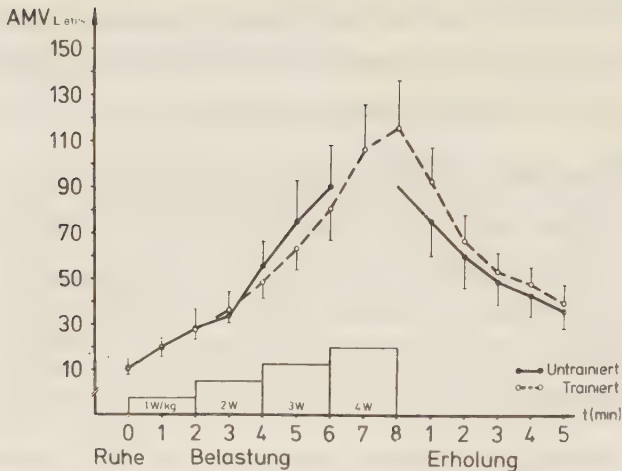


Abb. 22 Durchschnittskurve des AMV der Untrainierten und Trainierten vor, während und nach der Belastung am Fahrradergometer

Vor der Belastung wird für die Untrainierten 10,8 l, für die Trainierten 10,3 l als Mittelwert des AMV registriert.

Das AMV paßt sich der Belastung in den ersten Minuten durch allmählichen, dann durch steileren Anstieg an.

Ab der 4. Belastungsminute liegt das AMV der Untrainierten (55,5 l) über dem der Trainierten (48,5 l).

Am Ende der Belastung wird für die Untrainierten (n = 9) 90,3 l in der 6. Minute, für die Trainierten (n = 9) 116,2 l in der 8. Minute registriert.

In den ersten beiden Erholungsminuten fällt das AMV beider Gruppen zunächst steil, dann allmäh-

licher ab. Nach 5 Minuten Erholung beträgt die Ventilation bei den Untrainierten 35,0 l/min, bei den Trainierten noch 39,2 l/min.

Der Mittelwert der Maximalwerte des AMV beträgt für die Untrainierten 84,4 l/min, für die Trainierten 117,3 l/min.

Das Verhalten des AMV der Gruppe der Untrainierten und Trainierten während der Laufbandergometrie mit steigenden Wattstufen wird in der Abbildung 23 dargestellt. (Minutendurchschnittswerte siehe Tabellenteil im Anhang.)

Das AMV der Untrainierten während des gesamten Versuchs liegt über dem der Trainierten; nur am Ende der letzten Belastungsstufe ventilieren die Trainierten mehr Volumen als die Untrainierten.

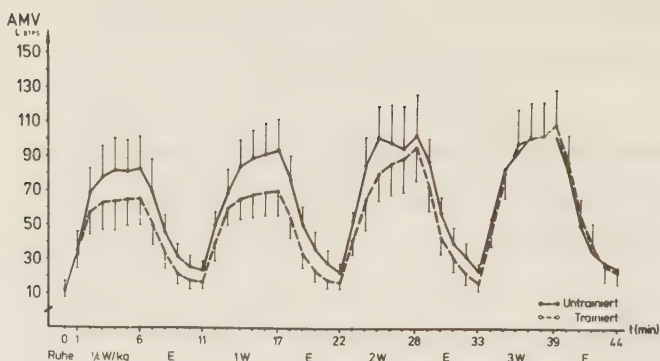


Abb. 23 Durchschnittskurve des AMV der Untrainierten und Trainierten vor, während und nach der Belastung am Laufbandergometer

Vom Ruhewert 11,3 l steigt die Kurve der Trainierten auf 65,2 l in der 6. Minute der 0,25-Watt/kg-Stufe; nahezu parallel bewegt sich das AMV der Untrainierten von 11,9 l auf 82,5 l. In der zweiten Belastungsstufe scheiden die ersten Untrainierten aus; elf Probanden dieser Gruppe erreichen das AMV von 93,8 l in der 6. Minute. Für die Ventilation der 20 Trainierten errechnet sich ein AMV von 69,9 l/min als Höchstwert dieser Stufe. Unter der Belastung von 2-Watt/kg atmen die Trainierten ($n = 18$) bis zu 95,8 l/min, die Untrainierten ($n = 7$) 101,3 l in der 3. Minute und nach einem kleinen Abfall mit 4 Probanden 102,3 l in der 6. Minute.

In der 3-Watt/kg-Stufe erreichen die Trainierten 108,4 l/min als Höchstwert. Die zwei Untrainierten, die in dieser Stufe noch vier Minuten arbeiten, beenden die Laufbandarbeit mit dem AMV von 101,3 l (liegen hier erstmals niedriger als die Trainierten). In den Erholungsphasen fällt die Kurve der Trainierten jeweils auf Werte um 16,5 l, die der Untrainierten jeweils auf Werte um 23,0 l. Nur am Ende der letzten Erholungsphase wird in der 5. Minute noch ein AMV von 22,7 l bei den Trainierten und 24,7 l bei den Untrainierten registriert.

Der Mittelwert der Maximalwerte des AMV beträgt für die Gruppe der Untrainierten 104,7 l, für die Gruppe der Trainierten 110,3 l.

Atemzugvolumen und Atemfrequenz:

Die Abbildung 24 zeigt das Verhalten des AZV und der Af bei der Fahrradergometrie für die Gruppe der Untrainierten und der Trainierten. Von den Ruhewerten 681 ml (Untrainierte) bzw. 609 ml (Trainierte) ausgehend, nehmen die AZV beider Gruppen mit steigender Belastung kontinuierlich zu. Dabei liegt das AZV der Untrainierten von der 1. bis zur 6. Belastungsminute ständig über dem der Trainierten. Die Untrainierten erreichen ihren Maximalwert mit 2647 ml (n = 9) in der letzten Minute ihrer Arbeit

(6. Minute). Die Kurve der Trainierten nimmt ab dieser Minute einen flacheren Verlauf und sieht ihren Höchstwert in der ersten Erholungsminute mit 2702 ml ($n = 20$).

Der Abfall der Kurven des AZV in der Erholung führt zu den Werten 1564 ml (Untrainierte) bzw. 1584 ml (Trainierte) in der 5. Minute.

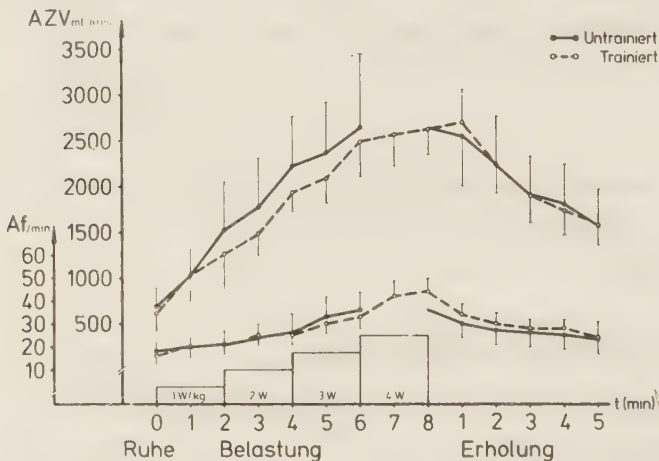


Abb. 24 Durchschnittskurve des Atemzugvolumens (AZV) und der Atemfrequenz (Af) der Untrainierten und Trainierten bei der Belastung am Fahrradergometer

Die Atemfrequenz (Af) der Untrainierten liegt vor Beginn der Fahrradergometerbelastung bei 18/min, die der Trainierten bei 16/min. Nach allmählichem Anstieg in den ersten Minuten streben die Kurven der Af gegen Ende der Belastung steiler ihrem Höchstwert zu, der bei den Untrainierten 36/min und bei

den Trainierten 44/min beträgt.

Der Abfall der Kurven der Af in der Erholung führt zu den Werten 23/min für die Untrainierten und 24/min für die Trainierten.

Als Mittelwerte der Maximalwerte errechnet sich das AZV von 2570 ml für die Untrainierten und 2780 ml für die Trainierten und eine Af von 35/min für die Untrainierten und 44/min für die Trainierten.

In der Abbildung 25 werden die Verlaufskurven der Af und des AZV der Gruppe der Untrainierten und der Trainierten bei der Laufbandergometerbelastung dargestellt.

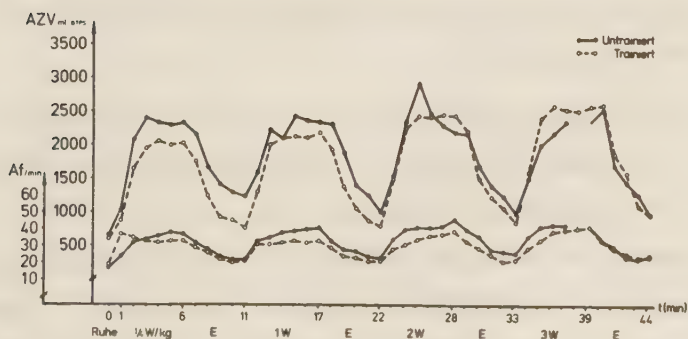


Abb. 25 Durchschnittskurve des Atemzugvolumens (AZV) und der Atemfrequenz (Af) der Untrainierten und Trainierten bei der Belastung am Laufbandergometer

Bei der Atemfrequenz zeigt sich folgendes Verhalten: Abgesehen von den ersten Minuten atmen die Untrainierten während des gesamten Versuchs mit höherer Frequenz.

Zu Beginn der Laufbandbelastung springt die Af der Trainierten vom Ruhewert 19/min in der 1. Minute der 0,25-Watt/kg-Belastungsstufe auf 37/min, um sich dann auf das Niveau von 33/min einzupendeln. Die Af der Untrainierten klettert vom Ausgangswert 17/min unter dieser Belastung bis auf 38/min (5. Minute). Unter der Belastung von 1 Watt/kg wird von den Trainierten 33/min, von den Untrainierten 40/min ($n = 11$), in der nächsten Belastungsstufe von den Trainierten 39/min und von den Untrainierten 46/min ($n = 4$) als Höchstwert der Af erreicht.

In der 3-Watt/kg-Belastungsstufe steigt die Af der Trainierten bis auf 42/min ($n = 7$), die Untrainierten schließen in der 4. Minute mit der Af von 43/min ($n = 2$) ab.

In den Erholungsphasen sinkt die Af der Trainierten bis auf Werte um 21/min, außer am Ende des Versuchs, wo der Abfall bei 24/min stagniert.

Die Af der Untrainierten fällt in der 1. Erholungsphase auf 22/min, in der zweiten bis 23/min, in der dritten bis 26/min und in der vierten bis 22/min ($n = 2$).

Das Atemzugvolumen (AZV) paßt sich den Belastungen in folgender Weise an:

In den ersten beiden Belastungsphasen arbeiten die Untrainierten mit einem größeren AZV als die Trainierten; ab der 5. Minute der dritten Belastungsphase liegen die Mittelwerte des AZV der Untrainierten unter denen der Trainierten.

Vom Ruhewert 601 ml vergrößern die Trainierten ihr AZV in der 0,25-Watt/kg-Belastungsstufe schnell auf 1949 ml in der 3. Minute, um dieses Niveau bis zum Ende dieser Stufe beizubehalten; die Kurve der Untrainierten steigt von 665 ml vor der Belastung noch steiler auf 2408 ml in der 3. Minute und schwankt dann um 2300 ml.

In der 1-Watt/kg-Stufe erreichen die Untrainierten ein Plateau bei 2400 ml, während die Trainierten bei 2150 ml liegen.

In der nächsten Stufe steigt das AZV der Untrainierten bis auf 2497 ml ($n = 7$) in der 3. Minute und fällt dann bis auf 2205 ml (6. Minute; $n = 4$), das AZV der Trainierten bewegt sich um 2450 ml.

Die Untrainierten ($n = 2$) schließen die Belastung in der vierten Stufe mit einem AZV von 2360 ml nach 4 Minuten ab; die Trainierten erreichen in der dritten Minute das Plateau von 2600 ml.

In den Erholungsphasen fällt das AZV erst nach der ersten Minute steil ab und erreicht dann 1238 ml,

1017 ml, 998 ml und 980 ml bei den Untrainierten, 770 ml, 993 ml, 860 ml und 974 ml bei den Trainierten in der 5. Minute der ersten, zweiten, dritten und vierten Erholungsphase.

Bei der Af ergaben sich als Mittelwerte der Maximalwerte während der Laufbandergometrie für die Gruppe der Untrainierten 44/min, für die Gruppe der Trainierten 43/min, beim AZV 2610 ml für die Untrainierten und 2780 ml für die Trainierten.

4. Die Herzschlagfrequenz

Hf bei Fahrradergometrie

In Abbildung 26 sind die Durchschnittskurven der Herzschlagfrequenz von trainierten und untrainierten Normalpersonen während der Ruhephase vor Arbeitsbeginn, während jeder vollen Belastungsminute und in der anschließenden 5-minütigen Erholungsphase, bei der Fahrradergometrie dargestellt.

(Minutendurchschnittswerte siehe Tabellenteil im Anhang.)

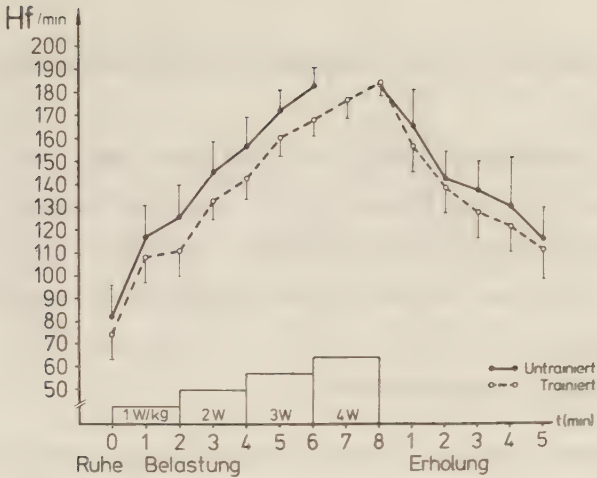


Abb. 26 Durchschnittskurven der Trainierten und Untrainierten in der Herzfrequenz (Hf) bei der Untersuchung am Fahrradergometer

Der Kurvenverlauf zeigt deutlich einen steileren Anstieg der Verlaufskurve der untrainierten Probanden. Von einem Ruhewert von 82/min steigt die Kurve auf 126/min in der zweiten und 157/min in der vierten Minute. Nach 6 Minuten ist mit 184/min eine maximale Herzschlagfrequenz erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt arbeiten noch 9 Probanden. Bei der trainierten Vergleichsgruppe steigt die Kurve von einem niedrigeren Ruhewert von 74/min über 111/min in der zweiten und 143/min in der vierten Minute deutlich flacher an.

Über 169/min am Ende der 6. Belastungsminute wird in der 8. Minute die höchste Herzschlagfrequenz von 186/min registriert.

Hier arbeiten noch 9 Probanden aus der Vergleichsgruppe.

In der Erholungsperiode fällt die Kurve der trainierten Probanden steiler ab, d. h. diese Gruppe erreicht früher niedrigere Werte. Von 158/min in der ersten über 139/min in der dritten Erholungsminute fällt ihre Kurve auf 113/min am Ende der 5-minütigen Erholungsphase.

Demgegenüber fällt die Kurve der Untrainierten von 167/min in der ersten über 139/min in der dritten auf 118/min in der fünften Erholungsminute.

Hf bei Laufbandergometrie:

In Abbildung 27 sind die Durchschnittskurven der Herzschlagfrequenz bei der Arbeit am Laufband von untrainierten und trainierten Normalpersonen dargestellt. Die Kurven zeigen das Verhalten während der Ruhe vor Arbeitsbeginn, während jeder vollen Belastungsminute und in fünf Erholungsminuten am Ende jeder Belastungsstufe.

(Einzelne Durchschnittswerte siehe Tabellenteil im Anhang.)

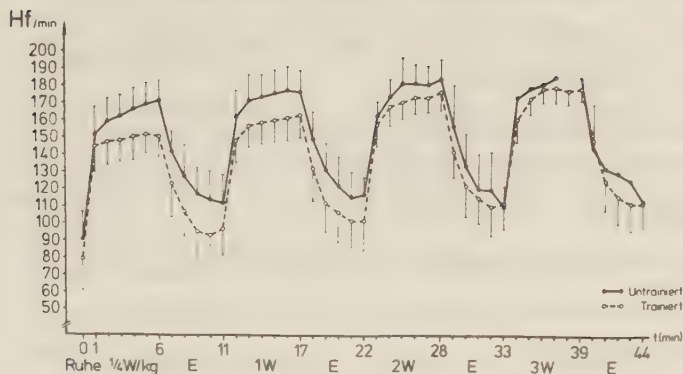


Abb. 27 Durchschnittskurve der Untrainierten und Trainierten in der Herzfrequenz (Hf) bei der Untersuchung am Laufband

Im Einzelnen ergibt ein Vergleich beider Gruppen folgende Werte (Gruppe der untrainierten Normalpersonen jeweils in Klammern):

Ausgehend von einem Ruhewert von 79/min (91) steigt die Kurve auf 148/min (162) in der dritten Minute auf 151/min (171) in der sechsten Minute.

In der zugehörigen Erholungsphase erreicht die Kurve bereits nach drei Minuten einen Wert von 96/min (117), der sich bis zum Ende der Erholung in der 5. Minute nicht mehr verändert, während der Durchschnittswert der untrainierten Gruppe nach fünf Minuten auf 112/min gefallen ist.

In der 2. Belastungsstufe (1 Watt/kg) steigt die Kurve über 159/min (174) in der 3. auf 163/min (177) in der 6. Minute an.

Der Abfall in der Erholung erfolgt über 107/min (122) in der 3. auf 102/min (118) in der 5. Erholungsminute.

In der 3. Belastungsstufe (2 Watt/kg) arbeiten noch alle Probanden der trainierten Gruppe, während von den Untrainierten nur noch 7 Probanden beginnen.

Die Kurve verläuft über 172/min (183) in der 3. bis zu 177/min (185) in der 6. Minute; um in der anschließenden Erholungsphase über 116/min (121) in der 3. auf 113/min (110) in der 5. Minute abzufallen.

Zu Beginn der 4. Belastungsstufe arbeiten noch 14 Probanden der trainierten und nur noch 2 Probanden der untrainierten Gruppe.

Während diese Beiden nach 4 Minuten erschöpft sind, können 7 Probanden der trainierten Gruppe bis zum Ende der Belastung durcharbeiten.

Die Kurve der trainierten Probanden erreicht in der 3. Minute mit 180/min ihren Höhepunkt und hält diesen Wert bis zum Ende der Belastungszeit.

Die Vergleichskurve der Untrainierten steigt über 183/min in der 3. auf den Höchstwert von 187/min in der 4. Belastungsminute.

In der Erholung fallen die Kurven über 117/min (130) in der 3. Minute auf 113/min (114) am Ende der 5-minütigen Erholung.

5. Der Sauerstoffpuls

In Abbildung 28 sind die Durchschnittskurven des Sauerstoffpulses bei Arbeit am Fahrradergometer von trainierten und untrainierten Normalpersonen dargestellt. (Minutendurchschnittswerte siehe Tabellenteil im Anhang.)

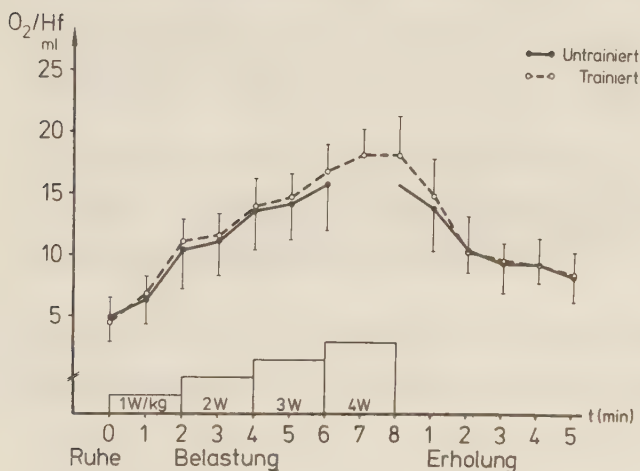


Abb. 28 Die Durchschnittskurve der Untrainierten und Trainierten im Sauerstoffpuls (O_2/Hf) bei der Untersuchung am Fahrradergometer

Die Kurve zeigt das Verhalten vor Arbeitsbeginn in Ruhe, während jeder vollen Belastungsminute und in der anschließenden 5-minütigen Erholungsphase. Die Durchschnittskurve des Sauerstoffpulses zeigt für beide Vergleichsgruppen einen ähnlichen, fast linearen Verlauf. Von einem Ruhewert von 4,9 ml O_2/Hf

steigt die Kurve der untrainierten Gruppe auf 10,5 ml O_2/Hf in der zweiten und 14,3 ml O_2/Hf in der fünften Minute an.

Hier brechen die ersten Probanden die Belastung ab. In der sechsten und letzten Minute wird mit 15,9 ml O_2/Hf der höchste Wert registriert. In der Erholungsphase fällt die Kurve zunächst steil ab, auf 10,7 ml O_2/Hf in der zweiten Erholungsminute. Am Ende der 5-minütigen Erholungszeit liegt der Durchschnittswert bei 8,5 ml O_2/Hf .

Bei der trainierten Gruppe steigt die Kurve vom Ruhewert 4,5 ml O_2/Hf auf 11,7 ml O_2/Hf in der dritten und 14,9 ml O_2/Hf in der fünften Minute an.

In den letzten drei Belastungsminuten läuft die Kurve fast plateauartig von 17,0 ml O_2/Hf auf 18,4 ml O_2/Hf aus.

In der Erholungsphase fällt die Kurve sehr steil auf 9,8 ml O_2/Hf in der 3. Erholungsminute ab, um dann langsam bis auf 9,6 ml O_2/Hf am Ende der Erholungszeit auszulaufen.

In Abbildung 29 sind die Minutendurchschnittskurven des Sauerstoffpulses bei der Laufbanduntersuchung der trainierten und untrainierten Gruppe dargestellt. Die Kurven zeigen das Verhalten vor Arbeitsbeginn in Ruhe, während jeder vollen Belastungsminute und in fünf Erholungsminuten am Ende jeder Belastungsstufe.

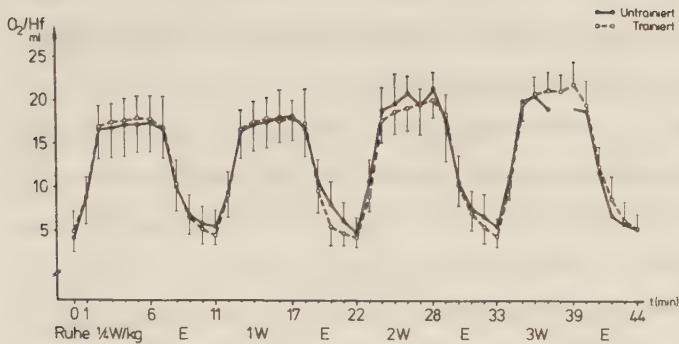


Abb. 29 Die Durchschnittskurve der Untrainierten und Trainierten im Sauerstoffpuls (O_2/Hf) bei der Untersuchung am Laufband

Im Einzelnen stellen sich die Kurvenverläufe folgendermaßen dar (die durchschnittlichen Werte der Untrainierten werden in Klammern hinter den Zahlen für die Trainierten angegeben):

Ausgehend von einem Ruhewert von 4,9 ml O_2/Hf (4,2) steigt die Kurve auf 17,4 ml O_2/Hf (16,7) in der dritten Minute und erreicht nach sechs Minuten am Ende der ersten Belastungsstufe 17,8 ml O_2/Hf (17,4). In der Erholungsphase fällt die Kurve auf 6,6 ml O_2/Hf (6,8) nach drei und auf 4,5 ml O_2/Hf (5,5) nach fünf Minuten.

In der 2. Belastungsphase (1 Watt/kg) steigt die Kurve wieder an auf 17,6 ml O_2/Hf (17,2) in der dritten

Minute und erreicht nach sechs Minuten 18,0 ml O_2/Hf (18,3). In der zugehörigen Erholungsphase fällt sie über 6,6 ml O_2/Hf (8,1) nach drei, auf 4,3 ml O_2/Hf (4,9) nach fünf Minuten ab.

In der 3. Belastungsstufe (2 Watt/kg) steigt die Kurve über 18,9 ml O_2/Hf (19,8) in der dritten auf 20,2 ml O_2/Hf (20,5) in der sechsten Minute an.

Der Wert in der sechsten Minute bedeutet für die Untrainierten den Höhepunkt im gesamten Kurvenverlauf.

Am Ende dieser Belastungsstufe arbeiten noch 18 Probanden der trainierten und 4 Probanden der untrainierten Gruppe. In der nachfolgenden Erholungszeit fällt die Kurve über 7,1 ml O_2/Hf (7,7) nach drei, auf 4,5 ml O_2/Hf (5,6) nach fünf Minuten.

In der 4. Belastungsstufe (3 Watt/kg) beginnen noch 14 Probanden der trainierten Gruppe, von denen 7 bis zum Ende durcharbeiten können. Die beiden noch verbliebenen Probanden der untrainierten Gruppe sind nach 4 Minuten erschöpft. Im Kurvenverlauf steigt die Kurve der Trainierten über 21,0 ml O_2/Hf in der dritten, auf den Höchstwert von 22,1 ml O_2/Hf in der sechsten Minute. Demgegenüber steigt die Kurve der Untrainierten auf 20,8 ml O_2/Hf in der dritten Minute, um dann in der nächsten und letzten Minute auf 19,3 ml O_2/Hf abzufallen.

In der zugehörigen Erholungsphase fallen die Durchschnittswerte über 8,9 ml O_2/Hf (6,9) in der dritten auf 5,4 ml O_2/Hf (5,3) am Ende der Erholungszeit.

6. Physical Working Capacity (PWC_{170})

In Abbildung 30 ist die Physical Working Capacity der trainierten und untrainierten Vergleichsgruppe sowie der Leistungssportler dargestellt. Die Balkendiagramme zeigen die Durchschnittswerte der Fahrrad- und Laufband-Untersuchungen.

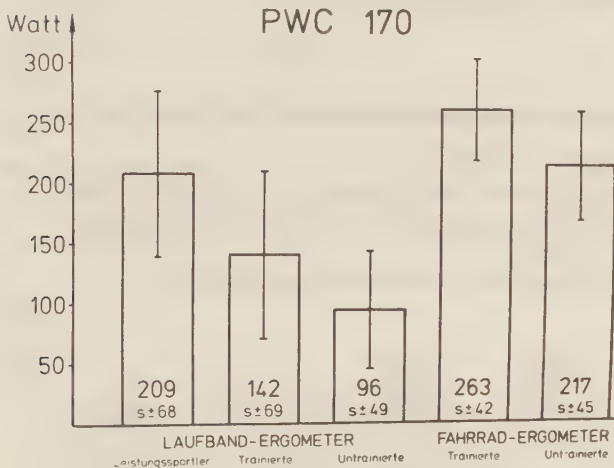


Abb. 30 Die PWC_{170} in Watt mit Standardabweichungen (s) der verschiedenen Vergleichsgruppen bei der Fahrrad- und Laufbandergometrie

Die Durchschnittswerte der Fahrradergometrie liegen durchweg höher als diejenigen der Laufbandergometrie. Den absolut höchsten Wert errechneten wir bei der Fahrraduntersuchung der Trainierten mit 263 Watt. Im Vergleich zum Durchschnittswert der Untrainierten

von 217 Watt ist dieser Unterschied statistisch sicher signifikant ($0,001 < p < 0,01$).

Die Ergebnisse der Laufbanduntersuchungen liefern einen statistisch wahrscheinlich signifikanten Unterschied ($0,01 < p < 0,05$).

Im Vergleich zur Laufbanduntersuchung erzielen beide Vergleichsgruppen am Fahrrad hoch signifikant höhere Werte ($p < 0,001$).

7. Arbeits- und Erholungspulssummen (APS und EPS)

Abbildung 31 zeigt eine geometrische Darstellung der Arbeitspulssummen der Trainierten und Untrainierten bei der Fahrradergometerbelastung.

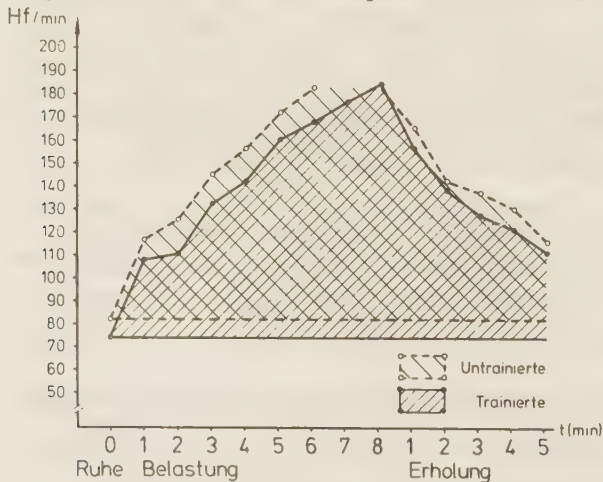


Abb. 31 Die Arbeitspulssumme der Untrainierten und Trainierten bei der Untersuchung am Fahrradergometer

Die Zeichnung verdeutlicht, daß sowohl der Ruhepuls, als auch die Minutendurchschnittskurve der Trainierten niedriger liegen, als die der Untrainierten. Die Darstellung der APS als integrierte Summe aller über dem Ruhepuls liegenden Pulse verleitet zu der Annahme, daß die APS der Trainierten und Untrainierten annähernd gleich groß ist. Dies entspricht jedoch nicht den Tatsachen, wie aus Abbildung 33 zu erkennen ist.

In der Abbildung 32 ist nochmals die APS beider Vergleichsgruppen, hier für die Laufbanduntersuchung, geometrisch dargestellt.

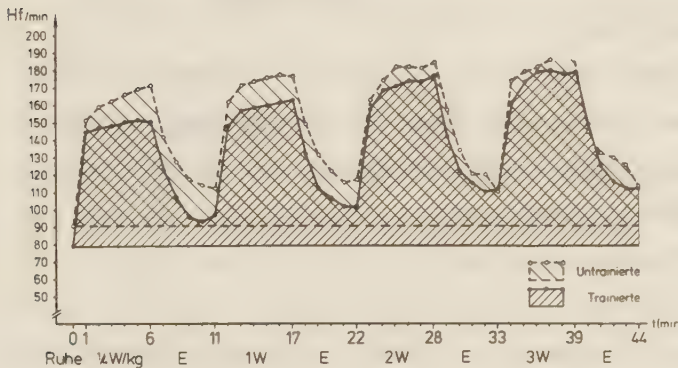


Abb. 32 Die Arbeitspulssumme der Untrainierten und Trainierten bei der Untersuchung am Laufband

Der Zeichnung kann man bereits auf den ersten Blick drei Ergebnisse deutlich entnehmen:

1. Der Ruhepuls zu Beginn der Belastung und die Minutendurchschnittswerte der Hf liegen bei den Trainierten in jeder Phase der Belastung niedriger.
2. Mit steigender Belastung nähern sich beide Kurven immer mehr an.
3. Mit steigender Belastung wird die, von Ruhepuls und Minutendurchschnittskurven gebildete Fläche immer größer, d. h. die APS wird immer größer.

Auch hier ist zu erkennen, daß diese geometrische Art der Darstellung keine genauen Aufschlüsse über die Unterschiede der APS beider Vergleichsgruppen liefern kann.

Um diese, doch recht deutlichen Unterschiede aufzuzeigen, sind in Abbildung 33 die Arbeits- und Erholungspulssummen der Trainierten, der Untrainierten und der Leistungssportler im Balkendiagramm verglichen.

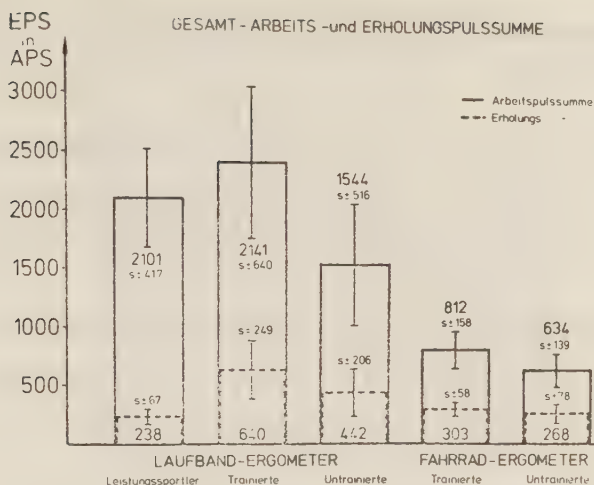


Abb. 33 Die Arbeits- und Erholungspuls-
summen mit Standardabweichungen (s)
der verschiedenen Vergleichsgruppen
bei der Fahrrad- und Laufband-
ergometrie

Es zeigt sich, daß die am Laufband erzielten APS und EPS alle höher liegen, als die am Fahrrad erreichten Werte. Die absolut höchste APS erzielten die Trainierten bei der Laufbanduntersuchung. Den niedrigsten Wert bestimmten wir bei der fahrradergometrischen Untersuchung der Untrainierten. Die APS der Trainierten ist bei Fahrrad- und Laufbandergometrie hoch signifikant größer ($p < 0,001$), als die der Untrainierten. Der Unterschied in den EPS ist bei beiden Untersuchungsgängen nicht signifikant ($p > 0,05$).

8. Durchschnittsmaximalwerte und statistische
Signifikanzen

In den Tabellen 4 bis 6 sind die mittleren Maximalwerte der Gruppe der Untrainierten und der Trainierten für die Fahrrad- und Laufbandergometrie dargestellt.

Der Vergleich der mittleren Maximalwerte erfolgte nach der t-Verteilung nach Student für paarige bzw. unpaarige Stichproben (siehe Kapitel V "Statistische Beurteilung der Ergebnisse"). Anhand der Irrtumswahrscheinlichkeit p wurden folgende Signifikanzschwellen vorgegeben: *

$p > 0,05$	: nicht signifikant (NS)
$0,05 > p > 0,01$	: wahrscheinlich signifikant (WS)
$0,01 > p > 0,001$	: sicher signifikant (SS)
$0,001 > p$	: hoch signifikant (HS)

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit nicht behandelten Parameter werden bei WETTICH (74) und ZIMMER (75) ausführlich beschrieben und diskutiert.

* Siehe auch Kapitel V "Statistische Beurteilung der Ergebnisse". (Seite 74 - 76)

BIOLOG. MAXIMALWERTE der TRAINIERTEN PROBANDEN

Parameter	Fahrrad		Laufband		t	p	stat	Sign
	Mx	Sz	Mx	Sz				
Alter	25,9	4,9	dto.					
Gewicht	74,6	5,6	dto.					
Größe	180,2	5,1	dto.					
Af	44	6	43	8				
AZV ml	2780	330	2780	470				
Wattleistung	1307	107	2208	587	6	0,001 < p < 0,01	SS	
AMV l	117,3	17,7	110,3	19,8	1,2	0,001 < p < 0,01	SS	
O ₂ -Aufn ml	3387	396	3820	528	3	0,01 < p < 0,05	WS	
O ₂ /kg ml	45,5	4,5	51,3	6,4	3,4	0,001 < p < 0,01	SS	
O ₂ /Hf ml	18,8	2,4	20,1	3,0	3,0	0,001 < p < 0,01	SS	
Hf/Hf+kg ml	0,25	0,03	0,29	0,04	3,33	0,001 < p < 0,01	SS	
Hf max	181	9	183	8	1	> 0,05	NS	
Hf 5'Erh	113	13	113	14	0	> 0,05	NS	
PWC 170	263	42	142	69		< 0,001	HS	

Tab. 4 Biologische Maximalwerte der Trainierten mit statistischem Vergleich der Maximalwerte von Fahrrad- und Laufbandergometrie

BIOLOG. MAXIMALWERTE der UNTRAINIERTEN PROBANDEN

Parameter	Fahrrad		Laufband		t	p	stat	Sign
	Mx	Sz	Mx	Sz				
Alter	26,6	4,5	dto.					
Gewicht	77,0	9,5	dto.					
Größe	181,9	6,0	dto.					
Af	35	9	44	10				
AZV ml	2570	600	2610	430				
Wattleistung	813	54	905	103	1	> 0,05	NS	
AMV l	84,4	19,8	104,7	17,2	3,1	0,001 < p < 0,01	SS	
O ₂ -Aufn. ml	2687	592	3390	540	4	< 0,001	HS	
O ₂ /kg ml	34,4	6,3	44,0	6,2	4,5	< 0,001	HS	
O ₂ /Hf ml	15,0	3,3	18,9	3,3	3,6	0,001 < p < 0,01	SS	
O ₂ /Hf+kg ml	0,19	0,03	0,25	0,03	4,63	< 0,001	HS	
Hf max	179	9	186	8	2	> 0,05	NS	
Hf 5'Erh	118	14	119	15	0	> 0,05	NS	
PWC 170	217	45	96	49		< 0,001	HS	

Tab. 5 Biologische Maximalwerte der Untrainierten mit statistischem Vergleich der Maximalwerte von Fahrrad- und Laufbandergometrie

FAHRRADERGOMETER:

Parameter	Trainierte		Untrainierte		t	p	stat Sign
	M $\bar{x}$	S $\pm$	M $\bar{x}$	S $\pm$			
Wattleistung	1307	107	813	54	11	< 0,001	HS
AMV l	117,3	17,7	84,4	19,8	5,3	< 0,001	HS
O ₂ -Aufn ml	3387	396	2687	592	4	< 0,001	HS
O ₂ /kg ml	45,5	4,5	34,4	6,3	6,2	< 0,001	HS
O ₂ /Hf ml	18,8	2,4	15,0	3,3	4,3	0,001 < p < 0,01	SS
O ₂ /Hf x kg ml	0,25	0,03	0,19	0,03	3,43	0,001 < p < 0,01	SS
Hf max	181	9	179	10	1	> 0,05	NS
Hf 5' Erh	113	13	113	14	1	> 0,05	NS
PWC 170	263	42	217	45		0,001 < p < 0,01	SS

LAUFBAND:

Parameter	Trainierte		Untrainierte		t	p	stat Sign
	M $\bar{x}$	S $\pm$	M $\bar{x}$	S $\pm$			
Wattleistung	2208	587	905	103	6	< 0,001	HS
AMV l	110,3	19,8	104,7	17,8	0,9	> 0,05	NS
O ₂ -Aufn ml	3820	528	3378	540	2	0,01 < p < 0,05	WS
O ₂ /kg ml	51,3	6,4	44,0	6,2	3,6	0,001 < p < 0,01	SS
O ₂ /Hf ml	20,1	3,0	18,9	3,3	2,4	0,01 < p < 0,05	WS
O ₂ /Hf x kg ml	0,29	0,04	0,25	0,03	5,44	< 0,001	HS
Hf max	183	8	186	13	1	> 0,05	NS
Hf 5' Erh	113	14	119	15	1	> 0,05	NS
PWC 170	142	69	96	49		0,01 < p < 0,05	WS

Tab. 6 Statistischer Vergleich der
Maximalwerte der Untrainierten
und Trainierten bei der Fahrrad-
und Laufbandergometrie

Biologische Maximalwerte der Leistungssportler

J. Beh.	Wattleistung	4687 Wattmin.
	Atemfrequenz	43/min.
	Atemzugvolumen	2613 ml
	Atemminutenvolumen	112,4 l
	Sauerstoffaufnahme	4580 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	63,6 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	23,7 ml
	Herzfrequenz max	189/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	108/min.
	PWC ₁₇₀	255,2 Watt
	Arbeitspulssumme	2608
J. Gel.	Wattleistung	3093 Wattmin.
	Atemfrequenz	45/min.
	Atemzugvolumen	2873 ml
	Atemminutenvolumen	113,0 l
	Sauerstoffaufnahme	4870 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	69,2 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	25,8 ml
	Herzfrequenz max	189/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	99/min.
	PWC ₁₇₀	199,3 Watt
	Arbeitspulssumme	2260
K. Hel.	Wattleistung	2697 Wattmin.
	Atemfrequenz	49/min.
	Atemzugvolumen	2784 ml
	Atemminutenvolumen	128,8 l
	Sauerstoffaufnahme	4320 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	70,5 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	23,7 ml
	Herzfrequenz max	182/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	106/min.
	PWC ₁₇₀	190,0 Watt
	Arbeitspulssumme	2277

G. Heu.	Wattleistung	3428 Wattmin.
	Atemfrequenz	51/min.
	Atemzugvolumen	3135 ml
	Atemminutenvolumen	159,9 l
	Sauerstoffaufnahme	5090 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	65,4 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	28,4 ml
	Herzfrequenz max	179/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	95/min.
	PWC ₁₇₀	301,4 Watt
	Arbeitspulssumme	1789
J. Wol.	Wattleistung	4809 Wattmin.
	Atemfrequenz	44/min.
	Atemzugvolumen	3120 ml
	Atemminutenvolumen	158,7 l
	Sauerstoffaufnahme	4900 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	71,3 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	26,1 ml
	Herzfrequenz max	188/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	108/min.
	PWC ₁₇₀	257,6 Watt
	Arbeitspulssumme	2469
W. Sim.	Wattleistung	2808 Wattmin.
	Atemfrequenz	47/min.
	Atemzugvolumen	3520 ml
	Atemminutenvolumen	159,8 l
	Sauerstoffaufnahme	4570 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	58,6 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	26,1 ml
	Herzfrequenz max	186/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	108/min.
	PWC ₁₇₀	156,0 Watt
	Arbeitspulssumme	1871
G. Tem.	Wattleistung	3780 Wattmin.
	Atemfrequenz	47/min.
	Atemzugvolumen	3200 ml
	Atemminutenvolumen	128,1 l
	Sauerstoffaufnahme	4450 ml
	Sauerstoffaufnahme/kg	65,9 ml
	Sauerstoffaufnahme/Hf	22,5 ml
	Herzfrequenz max	204/min.
	Herzfrequenz 5' Erh	130/min.
	PWC ₁₇₀	101,3 Watt
	Arbeitspulssumme	1435

VII. Diskussion der Ergebnisse

Laufbanduntersuchungen haben den Vorteil, daß sie durch die physiologische Art der Bewegung ein adäquates Testverfahren für einen breitgestreuten Personenkreis darstellen.

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmals definierte Wattleistungen für Laufbanduntersuchungen angegeben, die es ermöglichen, im submaximalen und maximalen Bereich, Vergleiche mit fahrradergometrischen Untersuchungen durchzuführen. Dadurch kann zum Einen die Aussagekraft von Laufbanduntersuchungen im Allgemeinen bewertet, und zum Anderen die Bedeutung einzelner biologischer Parameter (Hf, APS, PWC₁₇₀, O₂-Puls, AMV, Wattleistung, Blutdruck) im Vergleich von Fahrrad- und Laufbandergometrie beurteilt werden.

1) Wattleistung und Belastungszeit

Die Wattleistung ist ein entscheidendes Kriterium zur Beurteilung des Leistungsvermögens, speziell der Muskelkraft eines Menschen. Die Höhe der maximal erreichbaren Wattstufe hängt von der Untersuchungsmethodik ab. Nach HOLLMANN (16) wird die höchste Wattleistung bei halbminütiger Steigerung der Wattstufe erzielt. Ziel unserer Untersuchungen war es aber nicht, eine möglichst hohe Wattleistung bei unseren Probanden zu erreichen, son-

dern die Ergebnisse von Fahrrad- und Laufbandergometrie vergleichend zu bewerten.

Daher bot für unsere Untersuchungen das körpergewichtsbezogene Belastungsverfahren die meisten Vorteile.

Nach einer Einteilung nach NOWACKI (49) wurden im Anschluß an die Untersuchung am Fahrradergometer alle Versuchspersonen, die mindestens eine Minute lang eine Leistung von 4 Watt/kg erbracht hatten, zur Gruppe der Trainierten zusammengefaßt. Alle Probanden, die 3 Watt/kg und weniger erreichten, bildeten die Gruppe der Untrainierten.

Alle Probanden der trainierten Vergleichsgruppe erreichten somit eine höhere relative Wattleistung. Ihre größere Leistungsfähigkeit zeigt sich auch im Vergleich der Gesamtarbeit in Wattminuten, d. h. in der Summe der in jeder Minute geleisteten Arbeit in Watt.

Bei der Untersuchung am Fahrrad erzielten die Trainierten eine durchschnittliche Wattleistung von 1307 Wattminuten, was einem statistisch hoch signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) im Vergleich zur durchschnittlichen Wattleistung der Untrainierten

von 813 Wattminuten entspricht.

Der höchste Wert wurde bei den Trainierten mit 1500 Wattminuten und bei den Untrainierten mit 1080 Wattminuten registriert, während der niedrigste Wert der Trainierten bei 1120 Wattminuten und der Untrainierten bei 630 Wattminuten lag.

Dies beweist andererseits, daß die von uns gewählte Einteilung der Gruppen nach dem 'Ergebnis der Fahrradergometrie (Untrainierte bis 3 Watt/kg, Trainierte ab 4 Watt/kg) sich auch beim Laufband bestätigt.

Bei den Laufbanduntersuchungen kommt die höhere kardio-pulmonale Leistungsfähigkeit der Trainierten noch deutlicher zum Ausdruck, was wohl in ihrem besseren Ausdauerleistungsvermögen begründet liegt.

Ihre durchschnittliche Arbeitsleistung in Wattminuten lag bei 2208 Wattminuten, während die der Untrainierten bei 905 Wattminuten lag.

Auch hier ist der Unterschied statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$). Die höchsten Wattleistungen lagen bei 3000 Wattminuten (Trainierte) und 2230 Wattminuten (Untrainierte), die niedrigsten bei 1116 Wattminuten (Trainierte), bzw. 333 Watt-

minuten bei den Untrainierten.

Wenn nun im Folgenden die Wattleistungen von Fahrrad- und Laufbanduntersuchung verglichen werden, muß man sich vorher klarmachen, daß die methodisch unterschiedlichen Versuchsabläufe Auswirkungen gerade auf die Arbeitsleistung haben müssen.

HOLLMANN (16) konnte beweisen, daß die höchste Wattleistung bei halbminütiger Steigerung erzielt wird. Bereits ASTRAND (4) und auch ROSSIER (64) zeigten, daß die Länge der Belastung entscheidende Bedeutung für die verschiedenen Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit haben kann.

Zwei bis drei Minuten benötigt das Herz-Kreislauf-System, um auf Belastungen adäquat zu reagieren (HOLLMANN, 15).

Belastungen, die kürzer als diese "Ansprungszeit" sind, liefern daher keine genauen Aussagen.

Trotz der unterschiedlichen Methodik kann ein Vergleich von Fahrrad- und Laufbandleistung einige aufschlußreiche Ergebnisse liefern.

Während die trainierte Vergleichsgruppe ihre Fahrradleistung von 1307 Watt am Laufband auf 2208 Watt steigern konnte, was einem statistisch sicher signifikanten Unterschied mit $0,001 < p < 0,01$ gleichkommt, war die Steigerung der Untrainierten von 813 Watt am Fahrrad auf 905 Watt am Laufband statistisch nicht signifikant $p > 0,05$.

Nur 2 Probanden der trainierten Vergleichsgruppe erzielten am Laufband niedrigere Wattleistungen als am Fahrrad (von ihnen war bekannt, daß sie den täglichen Weg zur Universität immer mit dem Fahrrad zurücklegten), alle anderen erreichten deutlich höhere, zum Teil doppelt so hohe Werte, bei 11 Versuchspersonen der untrainierten Gruppe lag die Fahrradleistung höher. Aus diesen Ergebnissen ist zu entnehmen, daß trainierte Probanden am Laufband sehr große Wattleistungen erzielen können (was auch noch bei den Leistungssportlern zu sehen sein wird).

Schlecht trainierte oder untrainierte Probanden erreichen am Laufband keine höheren Wattleistungen, sie sind schon frühzeitig, bedingt durch die hohe Anforderung die das Laufen an das kardio-pulmonale System stellt, ausbelastet.

Dieses Ergebnis hat vor allem auch Bedeutung für den klinisch tätigen Arzt, der immer wieder erlebt,

daß ältere Patienten bei Belastungsuntersuchungen auf Grund von mangelnder Muskelkraft aufgeben müssen, bevor Herz und Kreislauf tatsächlich in dem wünschenswerten Maße belastet sind.

Hier zeigen sich, wenn man noch die Ergebnisse der anderen Parameter (O_2 -Puls, Hf usw.) hinzuzieht, deutliche Vorteile der Laufbandergometrie.

Die Leistungssportler, es handelte sich um Skilangläufer und Langstreckenläufer, konnten ihre hervorragende Ausdauerleistungsfähigkeit deutlich unterstreichen. Mit durchschnittlich 3615 Wattminuten erzielten sie hoch signifikant höhere Wattleistungen als die beiden anderen Vergleichsgruppen.

Die höchsten Arbeitsleistungen erreichte J. W. mit 4809 Wattminuten, entsprechend einer Leistung von 5 Watt/kg über 2 Minuten und der mehrfache Deutsche Jugendmeister und Deutsche Meister 1978 über 15 km Skilanglauf der Herren J. B. mit 4687 Wattminuten, entsprechend 5 Watt/kg über eine Minute.

Wenn man sich nochmals vor Augen hält, daß eine Leistung von 5 Watt/kg einer Laufbandgeschwindigkeit von 9 km/h bei einer Steigung von 20 % entspricht, kann man sich ein Bild über die hervorragende Verfassung dieser Athleten machen.

Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Arbeitszeit zeigt sich, daß die trainierten Versuchspersonen sowohl am Fahrrad, mit einer mittleren Belastungs-

zeit von 7,4 min gegenüber 5,5 min, als auch am Laufband, mit einer mittleren Belastungszeit von 21,1 min gegenüber 13,6 min hoch signifikant höhere Arbeitszeiten erzielten als die Untrainierten. Die mittlere Belastungszeit bei der Laufbanduntersuchung der Leistungssportler lag bei 21,7 min. Ein statistischer Vergleich ist hier wenig sinnvoll, da die Leistungssportler im Gegensatz zu den Normalpersonen ununterbrochen bei steigender Belastung arbeiteten. Daß sie trotzdem noch längere Zeit arbeiten konnten, mag nochmals ihre enorme Ausdauerleistungsfähigkeit verdeutlichen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß das Erreichen einer maximalen Wattleistung von vielen Faktoren abhängig ist.

Bei Belastungen am Laufband wird vor allem bei Untrainierten das Herz-Kreislaufsystem zum limitierenden Faktor vor Muskulatur und Gelenken. Trainierte oder gar Leistungssportler erzielen auch am Laufband hohe bis sehr hohe Wattleistungen.

2) Blutdruck

STEGEMANN (69), KIRCHHOFF und MEYER-ERKELENZ (32) zeigten, daß der arterielle Blutdruck unter Ruhebedingungen bei Trainierten und Untrainierten etwa gleich groß ist, während HOLLMANN, VENRATH, VALENTIN

und SPELLERBERG (18) signifikante Unterschiede zwischen den Ruheblutdruckwerten Trainierter und Untrainierter fanden.

Wie aus Abbildung 20 ersichtlich, lag zwischen den Trainierten und Untrainierten, die auf dem Fahrradergometer getestet wurden, kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Ruhe-Blutdrucks vor.

Die untrainierte Gruppe hatte vor der Fahrradergometerbelastung einen mittleren Ruhe-Blutdruckwert von 140/90 mm Hg und die Trainierten einen mittleren Blutdruckwert von 130/85 mm Hg.

Bis heute gewonnene Untersuchungsergebnisse zeigen, daß der systolische Blutdruck zu Beginn der Arbeit schnell ansteigt (MELLEROWICZ (39), HOLLMANN, VALENTIN, VENRATH, SPELLERBERG (18) und andere).

Dies bestätigen unsere Versuche. Der in der zweiten und vierten Minute während Fahrradergometerarbeit gemessene systolische Blutdruck steigt steil an und ist für beide Testgruppen annähernd gleich. Auch HOLLMANN (17) konnte zwischen Medizinstudenten und Sportstudenten bei gleichen Leistungen keine Differenz hinsichtlich der Höhe des systolischen Blutdrucks feststellen.

Da die Probanden in höhere Leistungsbereiche kamen, konnten weitere Blutdruckmessungen aus technischen Gründen nicht vorgenommen werden, da sie den Bewegungsablauf gestört hätten.

Während der gesamten Erholungsphase, nach geleisteter maximaler Fahrradergometerarbeit, fällt der systolische Blutdruck für beide Gruppen linear ab und es ist festzustellen, daß der mittlere systolische Blutdruck der Trainierten während der gesamten Erholungszeit über dem der Untrainierten liegt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die maximale Belastung für die Untrainierten 3 Watt/kg betrug, während die trainierte Gruppe in höhere Leistungsbereiche kam und mindestens 4 Watt/kg schaffte. Im Gegensatz zu den mittleren systolischen Blutdruckwerten bewegt sich die diastolische Blutdruckkurve der Trainierten unter der Kurve der Untrainierten, was ein Hinweis für ein größeres Herzschlagvolumen der Trainierten ist. Die diastolischen Blutdruckwerte liegen zwischen 75 - 90 mm Hg. KIRCHHOFF und MEYER-ERKELENZ (32) stellten fest, daß sich das diastolische Blutdruckverhalten von Trainierten und Untrainierten während der Belastung vom diastolischen Ruhe-Blutdruck nur unwesentlich unterscheidet und nur leicht abfällt. Übereinstimmend mit Laufbanduntersuchungsergebnissen von KIRCHHOFF und SILL (31), KIRCHHOFF und MEYER-ERKELENZ (32) ist aus Abbildung 21 zu entnehmen, daß der Ruhe-Blutdruck vor der Laufbandergometerarbeit bei den Trainierten bei 140/85 mm Hg und bei den Untrainierten bei 140/90 mm Hg lag.

Nach einer jeweils 6-minütigen Arbeitsphase auf dem Laufbandergometer schloß sich eine 5-minütige Erholungsphase an, in der die systolischen und diastolischen Blutdrucke gemessen wurden. Während der Laufbandergometerarbeit konnte der Blutdruck nicht gemessen werden, da eine Messung den Bewegungsablauf erheblich gestört hätte. In den Erholungsphasen I - IV bewegte sich der mittlere systolische Blutdruck der Untrainierten über dem der trainierten Gruppe. Lediglich in der letzten Minute der IV. Erholungsphase lag der systolische Druck der Trainierten minimal über dem der Untrainierten. Nach geleisteter Laufbandergometerarbeit erreichte der gemessene systolische Blutdruck in der 1. Minute der jeweiligen Erholungsphase seinen höchsten Wert. Hier konnten systolische Blutdruckwerte bis zu 210 mm Hg bei den Untrainierten und bis zu 195 mm Hg bei den Trainierten beobachtet werden. KIRCHHOFF und MEYER-ERKELENZ (32) fanden ebenfalls systolische Blutdruckwerte von über 200 mm Hg. BALKE (6) sieht eine Grenzbelastung dann als erreicht, wenn sich der systolische Blutdruck auf Werte über 240 mm Hg erhöht oder sogar abfällt und der Patient in Atemnot kommt.

Nach NOWACKI (50) wurden bei Weltklasseruderern nach erschöpfender ergometrischer Fußkurbelarbeit im Liegen systolische Blutdruckwerte bis 300 mm Hg gemessen.

Von der 1. bis 5. Minute einer jeden Erholungsphase kommt es zu einem Absinken der systolischen Blutdrucke.

Der diastolische Blutdruck verhält sich individuell unterschiedlich und bewegt sich für beide Testgruppen zwischen 55 und 90 mm Hg.

Blutdruck - Leistungssportler

Wie aus Tabelle 3 zu ersehen, erreichten die Hochleistungssportler einen durchschnittlichen Ruhe-Blutdruckwert von 140/85 mm Hg. WEIDEMANN, GÖRNANDT, ROSKAMM, SAMEK, REINDELL (73) fanden bei Hochleistungssrunderern einen Ruhe-Blutdruck mit durchschnittlichen systolischen Werten zwischen 125 bis 135 mm Hg und diastolischen Werten zwischen 80 bis 85 mm Hg. NOWACKI (50) fand bei einer Reihe von Spitzenrunderern der BRD Ruhe-Blutdruckwerte zwischen systolisch 140 - 150 mm Hg und diastolisch zwischen 85 bis 95 mm Hg.

Die Leistungssportler erreichten nach maximaler Laufbandergometerarbeit in der 1. Minute der Erholungsphase einen mittleren Blutdruckwert von 200/25 mm Hg. Den höchsten maximalen Blutdruckwert erreichte J. G. mit 220/20 mm Hg. Zwischen der 2. und 5. Minute der Erholungsphase sinkt der mittlere Blutdruck ab und erreicht in der 5. Minute fast wieder den mittleren Ruhe-Blutdruckwert.

3) Atemminutenvolumen mit Atemfrequenz
und Atemzugvolumen

Die Normalwerte der Atemparameter in Ruhe sind von Alter und Geschlecht und diejenigen für submaximale und maximale Belastungen besonders von Trainingszustand und Belastungsform abhängig.

(ROBINSON (58), ASTRAND (3), GALLE (10), KRAUSE (36), KEIDEL (29), NOWACKI (50), POLLOK (55), KÖNIG (34))

Als physiologischer Bereich unter Ruhebedingungen kann für unseren Probandenkreis ein AMV von 6 - 12 l, AZV von 400 - 800 ml und eine Af zwischen 12/min und 20/min angesehen werden.

Die Mittelwerte der Atemparameter der drei von uns untersuchten Gruppen liegen vor Beginn der Belastungsuntersuchungen im oberen Teil dieser Grenzen, wobei vor der Fahrradergometrie etwas niedrigere Werte als vor der Laufbandergometrie registriert werden. Dies weist darauf hin, daß die Versuchspersonen vor Versuchsbeginn die sympathicotone Reaktionslage trotz längeren Wartens nicht aufgeben konnten; diese Erscheinung, allgemein als Vorstartzustand bezeichnet, ist wahrscheinlich deshalb am Laufband ausgeprägter, weil hier, nach Angaben vieler Versuchspersonen, die Untersuchungssituation trotz ausgiebiger Einweisung ungewohnter und weniger überschaubar, als auf dem Fahrradergometer ist.

Betrachtet man die mittleren Maximalwerte der Atemparameter bei allen Untersuchungen, so stößt man auf bemerkenswerte und teilweise überraschende Ergebnisse.

Die untrainierten Probanden steigern ihr durchschnittliches maximales AMV von 84,4 l bei der Tretkurbelarbeit um 24,1 % auf 104,7 l bei der Laufbandbelastung; dies ist, in Einklang mit anderen Ergebnissen der maximalen Spiroergometrie, ein Hinweis darauf, daß diese Form der Laufbandarbeit den Organismus der untrainierten Versuchspersonen mehr fordert als die Fahrradergometrie. Der Zuwachs des AMV wird im wesentlichen von der Erhöhung der Atemfrequenz (Af) (von 35/min auf 44/min) bei nahezu gleichem AZV (von 2570 ml auf 2610 ml) getragen; d. h. daß bei der Tretkurbelarbeit schon ein Grenzwert für das AZV erreicht wird, der bei ungefähr 50 % der Vitalkapazität liegt. Die Einzelwerte für das maximale AMV schwanken bei den Untrainierten zwischen 50,9 l und 111,8 l am Fahrrad und 81,1 l und 132,3 l am Laufband; nur 2 von 18 Untrainierten hatten auf dem Laufband ein niedrigeres maximales AMV als auf dem Fahrrad.

Der Mittelwert des maximalen AMV der trainierten Vergleichsgruppe weist dagegen mit 110,3 l beim Laufbandversuch einen Rückgang gegenüber der Fahrradbelastung (117,3 l) um 6 % auf. Die Einzelwerte

schwanken auf dem Laufband zwischen 75,8 l und 145,7 l, auf dem Fahrrad zwischen 85,2 l und 162,8 l; nur 7 von 20 Trainierten erreichen auf dem Laufband den Höchstwert ihres AMV.

Für die durchschnittliche maximale Atemfrequenz errechnet sich bei den Trainierten bei der Laufbandarbeit mit 43/min ein geringfügig niedriger Wert als der Fahrradergometrie, während das AZV bei beiden Belastungsarten mit 2780 ml (entsprechend 52,5 % der Vitalkapazität) gleich ist.

Zur Interpretation dieses zunächst etwas überraschenden Ergebnisses bei den Trainierten müssen die anderen Maximalwerte der Spiroergometrie herangezogen werden (vergleiche Kapitel "Durchschnittliche Maximalwerte und statistische Signifikanzen" Tabellen 4 bis 6). Die höhere Sauerstoffaufnahme und die etwas höhere Pulsfrequenz der Trainierten bei der Laufbandbelastung im Vergleich zur Fahrradergometrie bestätigt die stärkere Beanspruchung des kardio-pulmonalen Systems infolge Einsatz größerer Muskelgruppen bei der Laufbandergometrie.

Doch muß man das niedrigere durchschnittliche maximale AMV der Trainierten als Hinweis darauf ansehen, daß diese, bedingt durch die Länge der Untersuchung, ihre Ventilationskapazität wegen vorzeitiger Muskelermüdung nicht voll ausschöpfen konnten.

Die Leistungssportler erreichen mit dem AMV von

137,1 l, dem AZV von 3063 ml und der Af von 47/min die erwartungsgemäß höchsten Werte, doch muß im Hinblick auf die beiden anderen Vergleichsgruppen die etwas andere Belastungsart berücksichtigt werden.

Die Angaben anderer Autoren über Maximalwerte der Atemparameter schwanken erheblich. Schon 1939 ermittelte ROBINSON (58) für Normalpersonen auf dem Laufband ein AMV von 120 l und eine Af von 43/min; für Fußkurbelarbeit im Sitzen geben ASTRAND (3) 117 l, GALLE (10) 80,1 l und KRAUSE (36) 89,9 l an. Bei diesen Ergebnissen muß man davon ausgehen, daß sich ASTRAND's Wert auf trainierte Personen bezieht, während die Werte von GALLE und KRAUSE für Normalpersonen gelten.

Am Laufband fanden HERMANSEN und SALTIN (14) für Trainierte ein maximales AMV von 139,6 l und für Ausdauertrainierte maximal 161,5 l. POLLOCK (55) gibt bei einer vergleichenden Untersuchung beim BALKE-Test 131,0 l, beim BRUCE-Test 145,0 l, beim ELLESTAD-Test 141,0 l und für einen modifizierten ASTRAND-Test 141,0 l als maximales AMV für Trainierte an. Bei NOWACKI (50) fanden wir eine Zusammenstellung der maximalen Atemvolumina bei verschiedenen Sportarten (Abb. 34).

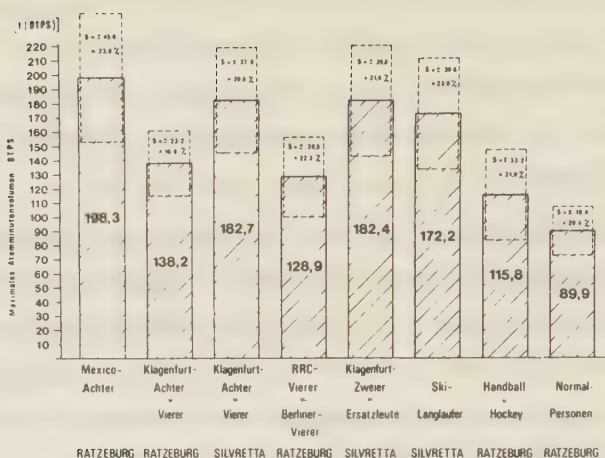


Abb. 34 Maximale Atemminutenvolumina (AMV) bei Sportlern verschiedener Sportarten (nach NOWACKI)

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen, was die Gruppe der Untrainierten betrifft, eine gute Übereinstimmung mit den Werten anderer Autoren. Die Angaben über höhere Maximalwerte trainierter Personen bei anderen Untersuchern, unterstreichen die schon oben getroffene Aussage, daß bei unseren Laufbanduntersuchungen diese Probandengruppe ihre Ventilationskapazität nicht voll ausschöpfen konnte. Auf unseren grundlegenden Versuchen aufbauend, fanden ROSENTHAL und VÖLPEL (63) bei ihren Untersuchungen (sie wählten kürzere Belastungszeiten bei der Laufbanduntersuchung) für jugendliche Handballer und Ruderer höhere Werte bei den drei Atemgrößen.

Der Vergleich der Verlaufskurven der Atemparameter zeigt den unterschiedlichen Trainingszustand der Vergleichsgruppen auf.

Bei der Tretkurbelarbeit ventilieren die untrainierten Männer ab der 2. Belastungsstufe (2 Watt/kg), also bei gleicher Leistung, mehr Volumen als die trainierten, und zwar mit einem größeren AZV bei gleicher Af. In den letzten Belastungsminuten weist die verstärkte Zunahme des AMV darauf hin, daß beide Probandengruppen ihre Leistungsgrenze erreichen; denn allgemein zeigt das überproportionale Ansteigen der Ventilation gegenüber der Sauerstoffaufnahme den nahenden Erschöpfungspunkt bei unsteady-state-Leistungen an (JOSS (26), HOLLMANN (20)).

Während der Anstieg des AZV jedoch gleich bleibt, geht die wachsende Zunahme des AMV mit einem gleichsinnigen Verhalten der Af einher; dabei nähert sich das AZV kontinuierlich seinem schon oben genannten Grenzwert, der 50 - 60 % der Vitalkapazität ausmacht.

Die Belastungen auf dem Laufband verlangen von den Untrainierten in den ersten Belastungsstufen eine größere Ventilation als von den Trainierten. Ebenso weisen die höheren Werte in den Erholungsphasen auf den ungünstigeren Trainingszustand der Untrainierten hin. Nur in den beiden höchsten Belastungsstufen (2 und 3 Watt/kg), als nur noch die leistungs-

fähigsten der Untrainierten am Versuch teilnehmen, nähern sich die Kurven des AMV einander an, und fällt die Kurve des AZV der Untrainierten unter die der Trainierten, während die Af der Untrainierten weiterhin über derjenigen der Trainierten liegt.

Die hohe Belastungsintensität der Laufbandergometrie zeigt sich auch daran, daß die Untrainierten schon in der ersten Belastungsstufe ein ähnlich hohes AMV benötigen, wie in der letzten Belastungsstufe der Fahrradergometrie. Auch bei den Trainierten liegt es bei Werten, die bei der Fahrradergometrie erst bei Belastungsstufen von 2 oder 3 Watt/kg registriert wurden. Beide Gruppen sind in der Lage, im weiteren Verlauf den steigenden Belastungen mit einer Zunahme des AMV zu antworten. Die Untrainierten vermögen dies jedoch bei nahezu konstantem AZV nur über eine Steigerung der Atemfrequenz, während bei den Trainierten AZV und Af gleichermaßen gesteigert werden können.

Somit sind die Trainierten in der Lage, bis zum Ende der Laufbandbelastung mit einer sehr ökonomischen Atmung zu arbeiten, während die Untrainierten auf die ungünstige Steigerung der Af angewiesen sind.

Die Leistungssportler liegen in den entsprechenden Wattstufen auf dem Niveau der Trainierten. Unterschiede zu den Trainierten zeigt ihre Ven-

tilation erst bei Belastungen, die von den Trainierten nicht geleistet werden können; nun werden hier größere Atemreserven deutlich, doch fehlt auch hier das überproportionale Ansteigen der Af. Das weist darauf hin, daß die Trainierten und die Hochtrainierten bei dem von uns gewählten Belastungsverfahren auf dem Laufband ihre pulmonale Leistungsfähigkeit wegen vorzeitiger Erschöpfung infolge lokaler Ermüdung der arbeitenden Muskeln nicht ausschöpfen mußten.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß bei den Trainierten und Leistungssportlern im Vergleich zu den Untrainierten auch bei dieser Form der Laufbandergometerbelastung typische Kennzeichen des trainierten Organismus (STEGEMANN (69), HOLLMANN (20), ROSKAM (59)) erkennbar sind. So finden sich bei ihnen niedrigere Werte der Atemparameter im submaximalen Bereich, besonders von AMV und Af, und ein stärkerer Abfall der Ventilationsgrößen in den Erholungsphasen. (Nach 5 Minuten Erholung liegen die Untrainierten noch 100 %, die Trainierten nur noch 50 % über ihren Atemruhwerten.)

Auf zwei interessante Beobachtungen sei abschließend noch hingewiesen:

1. Die hohe Af der Trainierten und Leistungssportler zu Beginn des Laufbandversuches, von

MELLEROWICZ als unökonomische Leistungsatmung bezeichnet, muß auf das Überwiegen corticaler, vor allem psychischer Einflüsse bei der Leistungseinstellung zurückgeführt werden.

2. Bei der Betrachtung der Kurven des AZV zeigt sich, daß das AZV gegenüber der Atemfrequenz und auch gegenüber dem AMV, als Produkt aus Af und AZV auf die Änderung der Belastung verzögert reagiert. Besonders deutlich wird dies jeweils in der ersten Minute der Erholung; so liegt der Mittelwert des AZV der trainierten Männer in der ersten Minute der Erholung bei der Fahrradergometrie sogar höher als in der letzten Minute der Belastung.

4. Die Herzschlagfrequenz (Hf)

Die Herzfrequenz nimmt als relativ einfach zu registrierende Meßgröße eine besondere Stellung im Rahmen der kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik ein. Ihr Verhalten in Ruhe und bei Belastung ermöglicht Aussagen über die körperliche Leistungsfähigkeit.

Die Regulation der Ruhe-Hf wird von verschiedenen intra- und extra-kardialen Faktoren beeinflusst. Besonders niedrige Ruhfrequenzen zeigen die vagotone Reaktionslage des Trainierten.

Bei Belastung liegt die Herzfrequenz des Sportlers bei gleicher Leistung immer deutlich unter der des Untrainierten. Die maximale Herzfrequenz ist im mittleren Lebensalter bei Trainierten und Untrainierten, Männern und Frauen nahezu gleich. Mit zunehmendem Lebensalter sinkt auch die maximale Herzfrequenz (Faustregel: maximale Hf = $200 - \text{Alter}$). Literaturangaben über maximale Herzfrequenzen weisen erhebliche Schwankungen auf. NOWACKI und HELBING (zitiert nach NOWACKI (49)) geben als durchschnittliche Maximalwerte für untrainierte Männer 192/min und für trainierte Männer 177/min an. ROSKAM (62) nennt 175 - 185 pro Minute und NOWACKI (50) fand Durchschnittsmaximalwerte von 166/min bei Skilangläufern und 181/min bei Nachwuchsruderern. ROSKAM, BECKHOVE und REINDELL (60) führten eine Reihe von telemetrischen Untersuchungen bei verschiedenen Sportlern durch. Dabei fanden sie bei dem Radrennfahrer W. R. während eines 1000 m Einzelzeitfahrens am Berg 222 Schläge/min. Etwas niedriger lagen Skilangläufer während eines 7,5 km langen Trainingslaufes mit Werten zwischen 182 - 204/min und jugendliche Radrennfahrer während der Tour der Jugend mit 185 - 204/min. MELLEROWICZ (39), der auch schon solch extrem hohe Werte registrierte, bemerkte allerdings, daß Herzschlagfrequenzen dieser Größenordnung nur kurzfristig durchgehalten werden können.

ISRAEL (23) weist demgegenüber darauf hin, daß Ausdauersportler in der Lage sind, bei Herzschlagfrequenzen um 180/min voll aerob Energie zu gewinnen. Dadurch können sie 30 Minuten und länger mit Herzschlagfrequenzen, die nur wenig unter ihrem Maximalwert liegen, arbeiten.

Bei unseren Untersuchungen erzielte die untrainierte Vergleichsgruppe am Fahrrad einen durchschnittlichen Maximalwert von 179/min, am Laufband lag er bei 186/min.

Bei der trainierten Vergleichsgruppe konnten wir am Fahrrad 181 Schläge pro Minute und am Laufband 183 Schläge pro Minute messen.

Bei beiden Vergleichsgruppen ist der Unterschied der maximalen Herzfrequenzen von Fahrrad- und Laufbandergometrie statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Die Einzelmaximalwerte schwankten bei den Trainierten zwischen 174/min und 197/min am Fahrrad und zwischen 174/min und 196/min am Laufband.

Bei den Untrainierten lagen die Werte zwischen 160/min und 197/min am Fahrrad und zwischen 167/min und 210/min am Laufband.

Der Maximalwert von 210/min war zugleich der höchste bei unseren Versuchen registrierte Wert.

Betrachtet man sich die einzelnen Durchschnittsmaximalwerte etwas näher, so ist festzustellen,

daß bei der trainierten Vergleichsgruppe 13 Probanden (das sind 65 %) und bei der untrainierten Vergleichsgruppe 14 Probanden (das sind 77,77 %) am Laufband höhere Maximalwerte erreichten. In beiden Gruppen lag die höchste Steigerung bei 15 Schlägen pro Minute. Dieses Ergebnis zeigt, daß bei den meisten Probanden bei vita-maxima Untersuchungen nicht das kardio-pulmonale System, sondern die Muskulatur als limitierender Faktor wirksam ist. Die entschieden höhere Kreislaufbelastung der Laufbanduntersuchung kommt noch deutlicher im Vergleich submaximaler Belastungsstufen zum Ausdruck: Bei einer Belastung von 2 Watt/kg betrugen die durchschnittlichen Herzfrequenzen in der zweiten Belastungsminute bei den Untrainierten 157/min am Fahrrad und 175/min am Laufband, bei den Trainierten fällt das Ergebnis mit 143/min zu 169/min ebenso deutlich aus.

Noch besser kann man die hohe Kreislaufbelastung verdeutlichen, wenn man die Herzfrequenzen submaximaler Belastungsstufen in Relation setzt zur maximalen Hf. Als Beispiel soll hier die zweite Minute der Belastungsstufen, 1 Watt/kg dienen, da hier sowohl am Fahrrad als auch am Laufband noch alle Versuchspersonen arbeiteten. Setzt man die oben angegebenen maximalen Herzfrequenzen mit 100 % an, so erreichten die Trainierten in der 2. Minute eine Ausnutzung von 61,32 % am Fahrrad

und 85,79 % am Laufband. Bei den Untrainierten lagen die Vergleichswerte mit 70,39 % am Fahrrad bzw. 92,47 % am Laufband noch höher, was ein weiterer Beweis für die unökonomischere Arbeitsweise und damit für ihren schlechteren Trainingszustand ist. Diese beiden Beispiele zeigen deutlich die ungleich höhere Kreislaufbelastung bei Untersuchungen am Laufbandergometer. Ähnliche Ergebnisse brachten die Untersuchungen von KIRCHOFF und SILL (31). Auch sie fanden bei vergleichender vita-maxima-Belastung deutlich höhere Ausbelastung bei der Laufbandergometrie.

Allerdings gingen die Autoren methodisch anders vor, indem sie bei einer konstanten Laufgeschwindigkeit von 6 km/h ausgehend von 6° die Steigung minütlich um 1° bis maximal 15° erhöhten.

Zieht man zum Vergleich der Maximalwerte noch das Ergebnis der Leistungssportler heran, so findet sich auch hier ein interessantes Resultat: Der durchschnittliche Maximalwert der Leistungssportler liegt bei 188 Schlägen pro Minute; im einzelnen schwanken die Werte zwischen 179/min und 204/min.

Betrachtet man nur die Maximalwerte, die am Laufband erzielt wurden, so zeigt sich, daß die Leistungssportler mit 188/min den höchsten, die untrainierten Normalpersonen mit 186/min den zweithöchsten und die trainierten Normalpersonen mit 183/min den niedrigsten Maximalwert erreichten. Dies scheint auf den ersten Blick ein Gegensatz zu der unbestrittenen Aussage zu sein, daß eine höhere Leistungsfähigkeit durch niedrigere Hf

bei gleicher Arbeitsbelastung gekennzeichnet ist. ISRAEL (23), der bereits vor längerer Zeit dasselbe Ergebnis gefunden hat, liefert auch die Interpretation für diesen, nur scheinbaren Widerspruch: Die maximale Hf sinkt ab, wenn das Leistungsvermögen durch körperliches Training steigt. Der ausgetrainierte Sportler ist durch langjähriges Training mit einem Reservebereich ausgestattet, der nicht ohne weiteres zu mobilisieren ist.

Bei höchsten Belastungen aber kann er seine maximale Hf steigern und damit einen positiven Leistungssprung herbeiführen. Die von uns ermittelten Ergebnisse unterstreichen nochmals die oben angeführten Aussagen.

In diesem Zusammenhang muß auch auf den sogenannten "Astrand-Effekt" hingewiesen werden.

ASTRAND (5) beschrieb 1958 erstmals, daß die maximale Hf bei Ausdauerbelastungen zu Beginn eines Höhentrainings absinkt, um dann, im Zuge der Anpassung, wieder zu steigen. Bei der Rückkehr ins Flachland erreichen dann viele Athleten - als typische Nachhöhenwirkung - oftmals höhere maximale Herzfrequenzen als vor dem Höhentrainings. Dieser positive Leistungssprung dürfte vor allem auf eine Verbesserung der Sauerstoffaufnahme, des Sauerstofftransportes und der Sauerstoffverwertung zurückzuführen sein.

Auch andere Autoren wie NOWACKI (51) und

MELLEROWICZ (41) beobachteten diesen "Astrand-Effekt". Nach einem zweiwöchigen Höhenttraining von Mitgliedern der Rudernationalmannschaft fand NOWACKI (51) nach Rückkehr ins Flachland eine Steigerung der maximalen Herzfrequenz von vorher 179/min auf 187/min. Ein Blick auf die Minutendurchschnittskurven beider Vergleichsgruppen zeigt bei der Untersuchung am Fahrradergometer jeweils einen initial steilen Anstieg, der dann ab der 4. Minute bis zum Erreichen des höchsten Wertes in der 6. bzw. 8. Arbeitsminute etwas weniger steil ausläuft.

Zu Beginn der Erholungsphase folgt wieder ein steiler Abfall und am Ende der 5-minütigen Erholungsphase liegen sowohl die Trainierten mit 113/min, als auch die Untrainierten mit 119/min deutlich über der Grenze von 100 Schlägen pro Minute, die einen hoch trainierten Organismus nach einer orientierenden Einteilung der kardio-zirkulatorischen Erholungsfähigkeit auszeichnet.

Die Laufbanduntersuchung zeigt für beide Vergleichsgruppen in allen Belastungsstufen das gleiche Bild. Nach anfänglichem steilen Anstieg wird ab der 3. bis 4. Minute ein steady-state Zustand erreicht, bei dem sich die Pulszahl nur noch geringfügig um 2 bis 3 Schläge pro Minute erhöht. Mit steigender Belastung wird das steady-state bei höheren Herzfrequenzen erreicht.

Am Ende der Untersuchung liegen beide Gruppen mit 113/min bzw. 119/min (Untrainierte) deutlich über

dem Wert der Leistungssportler, deren gute körperliche Verfassung sich vor allem in der Erholungsphase zeigt, da sie nach durchschnittlich 21,7 min erschöpfender Belastung bereits nach 5 Erholungsminuten wieder eine mittlere Herzfrequenz von 104/min aufweisen (sehr gut trainierte kardio-zirkulatorische Erholungsfähigkeit).

Die Herzfrequenz erlaubt einen guten Einblick in die körperliche und kardio-zirkulatorische Leistungsfähigkeit. Durch ihre einfache Messung kann sie vor allem zur Trainingssteuerung wertvoll sein. Es zeigt sich, daß die Laufbanduntersuchung schon bei kleinsten Arbeitsstufen eine hohe Kreislaufbelastung ermöglicht. Sie bietet daher auch für die Klinik neue und bessere Möglichkeiten und sollte vor allem in der Rehabilitation eine größere Bedeutung gewinnen.

5) Der Sauerstoffpuls (O_2/Hf)

Von sehr vielen Autoren (s. a. Theoretische Einführung) wurde bereits in früheren Jahren der Parameter Sauerstoffpuls untersucht und seine zentrale Bedeutung beschrieben. Bei der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit gibt das Verhalten des O_2 -Pulses wichtige Hinweise. Besonders wertvoll wird seine Aussagekraft durch die korrelative Betrachtung kardialer und pulmonaler Funktionsgrößen (NOWACKI, 49). Der maximale Sauerstoffpuls

ermöglicht es uns, leistungsfähige von weniger leistungsfähigen Personen zu unterscheiden.

$$\text{max. O}_2\text{-Puls ml/min} = \frac{\text{max. O}_2\text{-Aufn. STPD ml/min}}{\text{Herzschlagfrequenz in dieser min}}$$

Als durchschnittlichen Maximalwert gibt REINDELL (56) einen Wert von ca. 17 ml O₂/Hf an, und liegt damit auf einer Linie mit GALLE (10), der einen mittleren Maximalwert von 17,2 ml O₂/Hf fand. HOLLMANN und VENRATH (18) nennen für Männer des dritten Lebensjahrzehnts 15 - 17 ml O₂/Hf.

All diese Angaben gelten für gesunde männliche Normalpersonen. Bei Untersuchungen an Hochleistungssportlern aus neun deutschen Nationalmannschaften fanden ROSKAMM, REINDELL und MÜLLER (61) folgende Maximalwerte:

Turner	16,5 ml O ₂ /Hf
Gewichtheber	17,5 ml O ₂ /Hf
Eisschnellläufer	20,5 ml O ₂ /Hf
Moderne Fünfkämpfer	21,0 ml O ₂ /Hf
Handballspieler	21,5 ml O ₂ /Hf
Amateurboxer	22,5 ml O ₂ /Hf
Amateurringer	23,5 ml O ₂ /Hf
Skilangläufer	24,5 ml O ₂ /Hf
Amateurradrennfahrer	24,5 ml O ₂ /Hf
Berufsradsrennfahrer	29,5 ml O ₂ /Hf

Eindrucksvolle Zahlen nennt auch NOWACKI (50), der bei Spitzenruderern der BRD maximale O_2 -Puls-Werte von 30 - 40 ml O_2 /Hf registrierte. Bei der Untersuchung zweier unterschiedlich leistungsfähiger Achtermannschaften konnte er zudem den positiven Einfluß der Trainingsjahre auf den Sauerstoffpuls nachweisen.

Bei unseren Untersuchungen erreichten die einzelnen Vergleichsgruppen folgende durchschnittlichen Maximalwerte: Die untrainierten Normalpersonen erzielten am Fahrrad einen Wert von 15 ml O_2 /Hf und am Laufband 18,9 ml O_2 /Hf. Die trainierten Versuchspersonen konnten ihren am Fahrrad erzielten Maximalwert von 18,8 ml O_2 /Hf am Laufband auf 20,1 ml O_2 /Hf steigern.

Damit liegen die Werte im Rahmen der oben angeführten, früher veröffentlichten Angaben für Normalpersonen. Auffallend ist jedoch bei beiden Gruppen der relativ hohe Maximalwert, der bei der Laufbanduntersuchung erreicht wurde. Statistisch gesehen bedeutet diese Verbesserung, daß der maximale O_2 -Puls bei der Laufbanduntersuchung für beide Vergleichsgruppen sicher signifikant (SS) höher liegt.

$$(0,001 < p < 0,01)$$

Diese Ergebnisse werden durch die Untersuchungen von KIRCHHOFF und SILL (31) untermauert. Auch sie fanden bei Vergleichsuntersuchungen am Laufband signifikant höhere maximale O_2 -Puls-Werte als am

Fahrrad. Auch HOLLMANN und Mitarbeiter (19) bestätigen, daß bei vergleichender Untersuchung spi-roergometrischer Meßgrößen im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit sich beide Sauerstoffpulswerte annähern, um dann schließlich am Laufband höher zu liegen als am Fahrradergometer.

Demgegenüber schreibt KALTENBACH (27), daß der Sauerstoffpuls von dem Wirkungsgrad der jeweiligen Belastungsform unabhängig ist. Auch MELLEROWICZ und NOWACKI (40a) fanden, daß die Art der ergometrischen Arbeit sowohl bei gleichen submaximalen Leistungen, als auch bei gleicher maximaler Leistung, nicht zu signifikanten Änderungen des Sauerstoffpulses führt.

Durch eine einfache Überlegung kann man verdeutlichen, daß die, bei unseren Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse richtig sind. Bei den einzelnen Probanden lag die maximale Sauerstoffaufnahme am Laufband signifikant höher als am Fahrrad, während sich die maximale Herzfrequenz nur geringfügig oder gar nicht erhöhte. (Wir konnten Steigerungen von fast 800 ml/min registrieren; bei KIRCHHOFF und SILL (31) lagen die Laufbandwerte teilweise um mehr als 1000 ml/min höher.) Da der maximale Sauerstoffpuls aber annähernd im Bereich der maximalen Herzfrequenz erreicht wird (ASTRAND, 3), muß der Quotient aus maximaler O_2 -Aufnahme und Herzschlagfrequenz größer werden. Besonders interessant fällt ein Vergleich beider Belastungsarten im Hinblick

auf die einzelnen Maximalwerte aus. Von 21 Probanden der trainierten Vergleichsgruppe konnten 19 ihren bei der Fahrradergometrie erzielten Maximalwert am Laufband steigern, nur 2 Probanden erzielten niedrigere Werte.

Bei der Vergleichsgruppe der untrainierten Normalpersonen lagen sogar alle am Laufband erzielten Maximalwerte höher als diejenigen, die bei der Fahrradbelastung erreicht wurden. Die einzelnen Höchstwerte lagen bei den Untrainierten zwischen 9,7 ml O_2/Hf und 20,1 ml O_2/Hf am Fahrrad; und zwischen 11,1 ml O_2/Hf und 24,0 ml O_2/Hf am Laufband. Bei den trainierten Probanden schwankten die Maximalwerte am Fahrrad zwischen 13,9 ml O_2/Hf und 22,6 ml O_2/Hf und am Laufband zwischen 13,0 ml O_2/Hf und 24,8 ml O_2/Hf .

Eine Betrachtung der durchschnittlichen Maximalwerte beider Vergleichsgruppen zeigt einen statistisch sicher signifikanten (SS) Unterschied bei der Fahrradbelastung - 15,0 ml O_2/Hf (Untrainierte) gegenüber 18,8 ml O_2/Hf (Trainierte) - und einen wahrscheinlich signifikanten (WS) Unterschied bei der Laufbandbelastung - 18,9 ml O_2/Hf gegenüber 20,1 ml O_2/Hf (Trainierte). Die Leistungssportler lagen mit einem durchschnittlichen Maximalwert von 25,0 ml O_2/Hf deutlich über den beiden anderen Vergleichsgruppen. (HS) Hier erzielte G. H. mit 28,4

ml O_2 /Hf den absolut höchsten Wert aller untersuchten Probanden.

Wenn man analog zur Diskussion der Herzfrequenzen den maximalen O_2 -Puls in Relation zum submaximalen setzt, findet man ein nahezu identisches Ergebnis. In der zweiten Minute der Belastungsstufe 1 Watt/kg - einer Belastungsstufe, in der noch alle Probanden arbeiteten - erreichen die Trainierten am Fahrrad 59 % und am Laufband 83 % ihres maximalen O_2 -Pulses. Wie zu erwarten, liegen die Werte der Untrainierten mit 70 % am Fahrrad und 87 % am Laufband noch höher.

Auch der Vergleich submaximaler und maximaler Sauerstoffpulse zeigt die deutlich höhere kardio-pulmonale Ausbelastung der Laufbanduntersuchung.

Ein Blick auf die Minutendurchschnittskurven zeigt in allen Darstellungen einen initial steilen Anstieg, der dann in einem fast plateauartigen Verlauf mündet. In der Erholungsphase folgt ein steiler Abfall und am Ende der 5-minütigen Erholung ist der Ausgangsrühewert fast erreicht. Es fällt auf, daß die Durchschnittswerte der trainierten Probanden bei der Fahrradergometerarbeit in allen Belastungsstufen höher liegen als die der untrainierten Probanden, während die Durchschnittswerte beider Gruppen am Laufband annähernd gleich sind, teilweise liegen hier sogar die Untrainierten höher.

Hierbei muß man jedoch bedenken, daß die Arbeitsdauer am Laufband länger ist, daß die Untrainierten sehr viel kürzer arbeiten als die Trainierten - 13,6 Minuten im Vergleich zu 21,1 Minuten - und somit ihren jeweiligen Maximalwert schon sehr viel früher erreichen.

Die Aussage von MUSHOFF u. a. (45), daß der Sauerstoffpuls von Sportlern in Ruhe und auf allen Belastungsstufen größer als bei untrainierten Männern ist, gilt also weiterhin und kann durch unsere oben angeführten Ergebnisse nicht widerlegt werden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß unsere Ergebnisse die hohe Aussagekraft des Sauerstoffpulses als diagnostisches Kriterium der körperlichen Leistungsfähigkeit unterstreichen. Seine besondere Bedeutung gewinnt er dadurch, daß sowohl kardiale (Hf, Herzzeitvolumen, Herzminutenvolumen), als auch pulmonale (O_2 -Aufnahme, a.-v. Differenz) Funktionsgrößen in seine Berechnung eingehen.

Somit kann man anhand des maximalen Sauerstoffpulses rasch eine Unterscheidung zwischen guter, normaler und pathologischer kardialer Leistungsfähigkeit treffen (NOWACKI, 49).

Als wichtigstes Ergebnis unserer Untersuchungen muß nochmals hervorgehoben werden, daß bei Laufbanduntersuchungen von Normalpersonen der maximale O_2 -Puls signifikant höher liegt als bei Untersuchungen am Fahrradergometer. Dieses bedeutende

Ergebnis steht im Widerspruch zu vielen früheren Veröffentlichungen, wurde aber auch schon durch andere Autoren - siehe oben - bestätigt.

6) Physical Working Capacity - PWC_{170}

In vielen Untersuchungen verschiedener Autoren (ADAMS u. a. (1), ASTRAND (3), BENGTSON (8), GRASER (12), RUTENFRANZ (65, 66), WAHLUND (71)) wurde die Bestimmung der PWC_{170} als wichtiges Kriterium zur Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit herangezogen. ASTRAND (3) beobachtete, daß die Erhöhung der Ruheherzfrequenz um ca. 100/min zeitlich mit der maximalen Sauerstoffaufnahme zusammenfällt. (Bei Normalpersonen zwischen 4 und 30 Jahren.) Da auch die PWC_{170} im Mittel eine Erhöhung der Ruheherzfrequenz um ca. 100/min beinhaltet, ist zu schließen, daß die PWC_{170} , ähnlich wie die maximale O_2 -Aufnahme, ein Kriterium bezüglich der Leistungsfähigkeit für kurzdauernde Höchstleistungen darstellt. Als Maß für die Dauerleistungsfähigkeit im Arbeits- und Berufsleben erscheint sie ungeeignet. Zu deren Charakterisierung ist die Arbeits- und Erholungspulssumme vorzuziehen.

RUTENFRANZ (65), der seine Untersuchungen vornehmlich mit Kindern und Jugendlichen durchführte, fand ebenfalls, daß die Eignung eines Heranwachsenden

für kurzdauernde Höchstleistungen am besten durch die Bestimmung der PWC_{170} zu prüfen sei.

Unsere Untersuchungen bestätigen, daß sich die PWC_{170} zur Charakterisierung der körperlichen Leistungsfähigkeit eignet, da die Durchschnittswerte der Trainierten, sowohl am Fahrrad als auch am Laufband, höher waren als die der Untrainierten. Bei der Fahrradergometrie war der Unterschied zwischen beiden Gruppen mit 263 Watt im Vergleich zu 217 Watt statistisch sicher signifikant ($0,001 < p < 0,01$). Bei den Trainierten lagen die einzelnen Werte zwischen 162 Watt und 319 Watt, was zugleich der höchste aller registrierten Werte war. Die Werte der Untrainierten lagen zwischen 132 und 311 Watt. Bei der Laufbanduntersuchung war der statistische Unterschied zwischen dem Mittelwert der Trainierten von 142 Watt und demjenigen der Untrainierten von 96 Watt wahrscheinlich signifikant ($0,01 < p < 0,05$). Betrachtet man sich die einzelnen Werte, die bei der Laufbandergometrie ermittelt wurden etwas genauer, so findet man doch einige bemerkenswerte Ergebnisse:

- Die Werte der Trainierten zeigten eine große Streuung; der niedrigste Wert lag bei 27 Watt, der höchste bei 268 Watt.
- Alle trainierten Versuchspersonen erreichten am Fahrrad eine höhere PWC_{170} als am Laufband.
- Wie bei den Trainierten findet man auch bei den

Untrainierten eine große Schwankungsbreite.

Die Einzelwerte lagen zwischen 25 und 169 Watt.

- Bei 5 Probanden konnte sogar kein reeller Wert für die PWC_{170} bestimmt werden; eine Tatsache, die weiter unten noch erläutert und diskutiert wird.

Da auch alle Untrainierten am Laufband niedrigere Werte als am Fahrrad erzielten, müssen die hier diskutierten Ergebnisse der PWC_{170} als weiterer Beweis für die schon früher - im Rahmen der Diskussion anderer Parameter - getroffenen Behauptungen gelten, daß bei der Laufbandergometrie schon bei niedrigerer physikalischer Leistung eine entschieden höhere Kreislaufbelastung erreicht wird.

Besonders deutlich wird die extrem hohe Kreislaufbelastung des Laufbandtests bei Betrachtung der PWC_{170} . Wie schon oben erwähnt, konnte sogar bei 5 Probanden der untrainierten Gruppe kein reeller Wert ermittelt werden. Am Beispiel des Probanden F. K. (s. auch Abbildung 18, Seite 71) ist ersichtlich, daß schon nach 2 Minuten - Belastungshöhe $1/4$ Watt pro kg - eine Herzfrequenz von 176/min erreicht wird. Setzt man die beiden Wattzahlen und die entsprechenden Herzfrequenzen in die Gleichung II auf Seite 31 ein, so errechnet sich für den Probanden eine PWC_{170} von -2,1 Watt, d. h. man erhält einen irrellen Wert. Anhand dieses Beispiels werden zwei wichtige Aspekte deutlich:

1. Die PWC_{170} ist immer ein theoretischer Wert, der sich aus der Linearität des Anstiegs von Herzfrequenz und Belastungshöhe ergibt und nur graphisch oder rechnerisch ermittelt werden kann.

2. Die Aussagekraft der PWC_{170} ist am Laufband - vor allem bei Untrainierten - beschränkt.

Durch die hohe Kreislaufbelastung der Untersuchung errechnen sich extrem kleine, teilweise sogar negative Wattzahlen, die nur eine geringgradige Aussage über die körperliche Leistungsfähigkeit ermöglichen.

Auch ein Blick auf die Ergebnisse der Leistungssportler zeigt, daß die Laufbanduntersuchung auf Grund ihrer hohen Kreislaufbelastung zu niedrigen PWC_{170} -Werten führt. Mit 209 Watt liegt der Durchschnittswert der Leistungssportler noch unter dem, bei der Fahrradergometrie der untrainierten Gruppe, ermittelten Werte. Allerdings liegt er aber auch sehr deutlich höher als die Werte der beiden Vergleichsgruppen der Normalpersonen bei deren Laufbanduntersuchung.

Zusammenfassend kann man sagen, daß genau wie dem Parameter APS, auch der PWC_{170} nur eine beschränkte Aussagekraft im Rahmen der kardio-pulmonalen Funktionsdiagnostik zugebilligt werden kann. Alleine mit den errechneten bzw. graphisch ermittelten Werten für die PWC_{170} ist eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Probanden nicht möglich.

Soll aber aus einem Untersuchungsgut (Rehabilitationsgruppe, Fußballmannschaft, Schulklasse usw.) auf möglichst raschem und einfachem Weg eine Differenzierung und Rangfolge der Leistungsfähigkeit der einzelnen Gruppenmitglieder getroffen werden, so können hierzu die schnell ermittelten Werte der PWC_{170} eine wertvolle Hilfe sein, wobei unserer Meinung nach die Belastung auf dem Fahrradergometer im Sitzen erfolgen sollte. Bei Laufbanduntersuchungen ist die Aussagekraft dieser Funktionsgröße vor allem bei Untrainierten stark eingeschränkt. Durch die hohe Kreislaufintensität kommt es schon bei geringen Belastungen zu hohen Herzfrequenzen. Nach den Empfehlungen von MOCELLIN und RUTENFRANZ (42) sollten aber Herzfrequenzen, die bei einer Leistung unter 1 Watt/kg auftreten für die rechnerische Bestimmung der PWC_{170} nicht berücksichtigt werden. Bei Untersuchungen am Fahrradergometer kann sie, aus den oben angeführten Gründen, weiterhin als rascher und wertvoller diagnostischer Hinweis bestimmt werden.

7) Arbeits- und Erholungspulssummen (APS und EPS)

Will man die Leistungsfähigkeit zweier Personen oder Gruppen anhand einer für eine bestimmte Belastung benötigten APS vergleichen, muß man sich klarmachen, daß die APS ein komplexer Parameter ist, der durch den Vergleich zweier absoluter Zahlenwerte nur unge-

nügend interpretiert ist. Eine große APS kann einmal ein Zeichen eines schlechten Trainingszustandes sein, nämlich dann, wenn eine Vergleichsperson mit einer niedrigeren Pulssumme dieselbe Leistung vollbringt. Zum anderen kann eine große APS aber auch bedeuten, daß eine gut trainierte Versuchsperson eine vorgegebene Wattleistung sehr lange durchführen kann, während eine andere, bei derselben vorgegebenen Belastung schon frühzeitig erschöpft ist.

An diesen kleinen Beispielen wird deutlich, daß der Parameter APS immer sehr sorgfältig und kritisch überprüft werden muß. Ohne Hinzuziehen der durchschnittlichen Arbeitsdauer und der erbrachten Wattleistung bleiben die Ergebnisse der Arbeits- und Erholungspulssumme nur wenig aussagekräftig.

Ein Blick auf die Abbildungen 31 und 32 (Seite 104 f.) macht die Problematik ebenfalls deutlich. Die vergleichende Darstellung der APS als integrierte Summe aller über dem Ruhepuls liegenden Pulse kann keinen auffallenden Unterschied zwischen den APS der Trainierten und denen der Untrainierten aufzeigen. Tatsächlich arbeiten aber in der 3. und 4. Belastungsstufe im Vergleich zu den Trainierten nur noch wenige untrainierte Probanden, so daß ihre durchschnittliche Arbeitspulssumme signifikant niedriger liegt.

Bei unseren Untersuchungen erreichten die Trainierten in beiden Belastungsverfahren höhere Arbeitspuls-

summen als die Untrainierten. Dies ist, in diesem Fall, aber nicht als Folge eines schlechteren Trainingszustandes zu sehen, sondern liegt in der signifikant längeren Arbeitsdauer der Trainierten bei beiden Belastungsverfahren begründet (siehe auch Kapitel Wattleistung und Belastungszeit). Den höchsten Einzelwert registrierten wir bei der laufbandergometrischen Untersuchung der Trainierten mit einer APS von 3440 Pulsen bei einer EPS von 947 Pulsen. Bei den Untrainierten liegt der höchste Wert der APS bei 2617 Pulsen, bei einer EPS von 1122 Pulsen. Die niedrigsten Werte beider Vergleichsgruppen liegen am Laufband für die Trainierten bei 1322 Pulsen - davon 310 in der Erholung - für die Untrainierten bei 1032 Pulsen - davon 302 in der Erholung. Am Fahrradergometer liegt der Höchstwert der Trainierten bei 1103 Pulsen (EPS = 365); und derjenige der Untrainierten bei 840 Pulsen (EPS = 355). Die niedrigsten Werte wurden hier mit 586 Pulsen (EPS = 183) bei den Trainierten, bzw. 419 Pulsen (EPS = 162) bei den Untrainierten registriert. Es fällt auf, daß die jeweils niedrigsten Werte beider Gruppen am Laufbandergometer immer noch deutlich höher liegen als die entsprechenden Höchstwerte der fahrradergometrischen Belastung. Dies heißt mit anderen Worten, daß bei der Laufbanduntersuchung eine größere Belastung des Herz-Kreislaufsystems erreicht wurde, oder anders, daß die Trainings- bzw. Kreislaufwirkung des Laufbandes besser

ist, als die des Fahrradergometers.

Um den Grad der Ermüdung einer Arbeit zu beschreiben, haben NÖCKER und BÖHLAU (48) den Erholungspulsquotienten bestimmt, indem sie die Pulssumme während der Belastung (BPS) durch die Pulssumme in der Erholungsphase (EPS) dividierten.

$$EPQ = \frac{BPS}{EPS}$$

Dieser Quotient ist dem Grad der Ermüdung umgekehrt proportional, d. h. er ist um so kleiner, je stärker ermüdend eine Arbeit ist. Wir wollen, um Kreislaufwirkung und Muskelermüdung der beiden Belastungsverfahren zu beschreiben, den prozentualen Anteil der EPS an der APS bestimmen. Aus Abbildung 33 (Seite wird deutlich, daß die Größe der Arbeitspulssumme zum überwiegenden Teil von der Pulssumme in der Belastungsphase bestimmt wird, ein einleuchtendes Ergebnis, das bereits von RUTENFRANZ (65) beschrieben wurde. Die EPS hängt einmal von der erbrachten physikalischen Leistung, zum anderen von der jeweiligen körperlichen Leistungsfähigkeit ab. Unsere Ergebnisse zeigen, daß auch eine Abhängigkeit von der Art der erbrachten Leistung besteht. Bei den Laufbanduntersuchungen lag der durchschnittliche Anteil der EPS an der APS für die Trainierten bei 26 % und für die Untrainierten bei 30 %. Bei der Fahrradergometrie lagen die

entsprechenden Werte bei 39 % (Trainierte), bzw. 42 % (Untrainierte). Unter Berücksichtigung des Verhaltens der Herzfrequenz, der APS und der Wattleistung muß man auch aus diesen Zahlen folgern, daß die Kreislaufwirkung von Laufbanduntersuchungen, bei geringerer muskulärer Ermüdung, deutlich höher liegt als die Kreislaufwirkung von fahrradergometrischen Untersuchungen. Dieses Ergebnis hat im Hinblick auf die muskuläre Insuffizienz vieler älterer Patienten gerade für die Klinik eine wichtige Bedeutung.

Wie schon früher erwähnt, ist die APS ein komplexer Parameter, dessen Aussagekraft für sich alleine gestellt nicht sehr groß ist, der aber im Zusammenhang mit der erbrachten Wattleistung bzw. der Arbeitsdauer wichtige Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit geben kann. Welch großen Einfluß körperliches Training auf die Größe der APS hat, konnte BARTEL (7) in einer Arbeit nachweisen, bei der zwei Vergleichsgruppen ein- bzw. zweimal wöchentlich ein festgelegtes Trainingsprogramm absolvieren mußten. Die Gruppe, die einmal wöchentlich trainierte, konnte ihre APS bei einem Ergometertest nach 6 Monaten um 16,1 % senken, während die zweimal wöchentlich trainierende Gruppe sogar eine Senkung von 18,2 % im Vergleich zum Ausgangswert erreichte.

Der sportmedizinisch tätige Arzt, der Trainer und auch der Sportler selbst, sind oftmals daran interessiert, möglichst einfach und schnell ein Bild über die

Leistungsfähigkeit einer Mannschaft, bzw. über das Leistungsgefälle in derselben zu erhalten. Im Folgenden soll nun eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie mit einfachsten Mitteln - Registrierung der Hf in Ruhe und bei Belastung, Messung der erbrachten Wattleistung - eine Unterscheidung leistungsfähiger von weniger leistungsfähigen Probanden möglich ist. Wie schon erwähnt stehen APS und Wattleistung in einem Zusammenhang mit der körperlichen Leistungsfähigkeit. Während die erreichte Wattleistung direkt mit der Leistungsfähigkeit korreliert, steht die benötigte APS in umgekehrtem Verhältnis zu ihr. Die Größe des Quotienten aus APS und Wattleistung kann daher als Maß für die Leistungsfähigkeit dienen, da der Quotient mit steigender Leistungsfähigkeit immer kleiner wird, d. h. der Pulssummen-Leistungsquotient ist der körperlichen Leistungsfähigkeit umgekehrt proportional.

In der folgenden Abbildung ist der Quotient aus Arbeitspulssumme und Wattleistung für die Fahrrad- und Laufbandergometeruntersuchung beider Vergleichsgruppen und der Leistungssportler im Balkendiagramm vergleichend dargestellt.

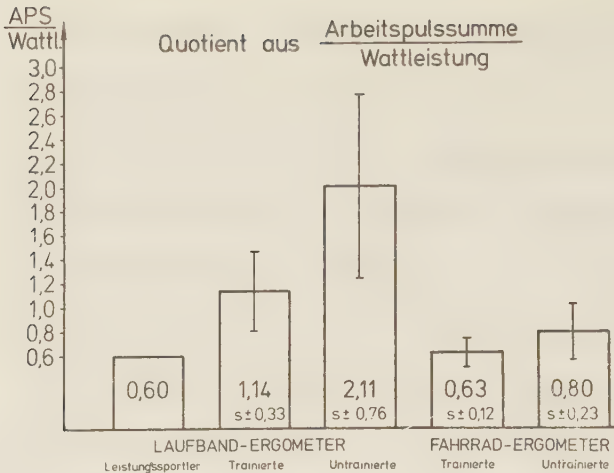


Abb. 35 Quotient aus Arbeitspulssumme und Wattleistung mit Standardabweichungen (s) der verschiedenen Vergleichsgruppen bei Fahrrad- und Laufbandergometrie

Abbildung 35 bestätigt die Hypothese, daß aus einem besseren Trainingszustand ein niedrigerer Pulssummen-Leistungs-Quotient resultiert. Bei der Laufbanduntersuchung ist der Unterschied zwischen dem mittleren Quotienten der Trainierten und Untrainierten statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$), bei der Fahrraduntersuchung liegt der Quotient der Trainierten wahrscheinlich signifikant ($0,01 < p < 0,05$) niedriger als der, der untrainierten Gruppe. Bei den Trainierten lagen die Einzelwerte am Laufband zwischen 0,72 und 2,09 und am Fahrrad zwischen 0,42 und 0,85. Bei den Untrainierten schwankten die entsprechenden Werte zwischen 0,91 und 3,23 am Laufband und zwischen 0,50

und 1,20 am Fahrrad. Es muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die Berechnung des Quotienten aus Arbeitspulssumme und Wattleistung nur dazu dienen soll und kann, mit einfachen Mitteln eine schnelle Beurteilung über die Leistungsunterschiede innerhalb einer Mannschaft zu treffen. Bedingung ist, daß alle Probanden nach derselben Untersuchungsmethodik getestet werden. Aus diesem Grund (unterschiedliche Methodik) soll auch hier ein statistischer Vergleich der Ergebnisse von Fahrrad- und Laufbanduntersuchung unterbleiben.

Es bleibt festzuhalten, daß die Arbeits- und Erholungspulssummen einen guten Nachweis über die Intensität einer Belastung geben. Zusammen mit der Wattleistung und Arbeitsdauer kann die APS Aufschlüsse über das Leistungsgefälle innerhalb einer Gruppe geben. Die APS als integrierte Summe aller, während und nach Belastung, über dem Ruhepuls liegender Pulse gibt gute Hinweise auf die Leistungsfähigkeit da die Aussagekraft dieses Parameters sich nicht auf das Verhalten zu einem bestimmten Zeitpunkt beschränkt, sondern das gesamte Verhalten der Hf während und nach Belastung integriert.

VIII. Zusammenfassung

Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über die Kreislaufwirkung von Fahrrad- und Laufbandergometrie wurden bei 41 männlichen Versuchspersonen durchgeführt. Eine Gruppe von 7 Leistungssportlern (Skilangläufer und Langstreckenläufer) wurde einem Test am Laufbandergometer unterzogen.

Es wurden erstmals definierte Wattleistungen für die Laufbandergometrie vorgegeben, die es ermöglichen, sowohl am Fahrrad als auch am Laufband, im körpergewichtsbezogenen Belastungsverfahren (Watt/kg) zu untersuchen und damit Vergleiche im submaximalen und maximalen Bereich anzustellen.

Die Versuchspersonen wurden entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit in zwei Vergleichsgruppen eingeteilt (Gruppe der Untrainierten - $n = 20$ -, Gruppe der Trainierten - $n = 21$).

Im Einzelnen fanden sich folgende Ergebnisse:

- 1) Alle untersuchten Parameter sind von der körperlichen Leistungsfähigkeit der Probanden abhängig.
- 2) Die Durchschnittswerte der Gesamtarbeit in Wattminuten (Wattleistung) lagen bei den Untrainierten zwischen 813 ± 34 (Fahrrad) und 905 ± 147 (Laufband); bei den Trainierten zwischen 1307 ± 29 (Fahrrad) und 2208 ± 141 (Laufband).

Der Durchschnittsmaximalwert der Leistungssportler lag bei 3614 ± 856 Wattminuten.

Im einzelnen schwankten die Werte zwischen 630 und 1500 Wattminuten bei der Fahrradergometrie und 333 und 4809 Wattminuten bei der Laufbandergometrie.

- 3) Die Länge der Belastungszeit lag bei den Untrainierten zwischen $5,5 \pm 0,5$ min (Fahrrad) und $13,6 \pm 4$ min (Laufband); bei den Trainierten zwischen $7,5 \pm 0,5$ min (Fahrrad) und $21,1 \pm 2,8$ min (Laufband). Bei den Leistungssportlern lag die durchschnittliche Länge der Belastungszeit bei $21,7 \pm 3$ min.

- 4) Die durchschnittliche maximale Herzfrequenz lag bei den Untrainierten zwischen 179 ± 9 (Fahrrad) und 186 ± 8 (Laufband); bei den Trainierten zwischen 181 ± 9 (Fahrrad) und 183 ± 8 (Laufband). Die Leistungssportler erzielten durchschnittlich 186 ± 6 Schläge/min.

Im einzelnen schwankten die Maximalwerte zwischen 160 und 197/min am Fahrrad und 167 und 210/min am Laufband.

- 5) Die durchschnittliche Arbeitspulssumme lag bei den Untrainierten zwischen 634 ± 139 (Fahrrad) und 1544 ± 516 (Laufband); bei den Trainierten

zwischen 812 ± 158 (Fahrrad) und 2141 ± 640 (Laufband). Der Durchschnittswert der Leistungssportler lag bei 2101 ± 417 (Laufband).

Im einzelnen schwankten die Werte bei der Fahrradergometrie zwischen 419 und 1103 und bei der Laufbandergometrie zwischen 1032 und 3440.

- 6) Der maximale Sauerstoffpuls lag bei den Untrainierten zwischen $15,0 \pm 3,3$ ml (Fahrrad) und $18,9 \pm 3,3$ ml (Laufband); bei den Trainierten zwischen $18,8 \pm 2,4$ ml (Fahrrad) und $20,1 \pm 3,0$ ml (Laufband). Die Leistungssportler erzielten durchschnittlich $25,2 \pm 1,5$ ml bei ihrer Laufbanduntersuchung.

Im einzelnen schwankten die Werte bei der Fahrradergometrie zwischen 9,7 und 22,6 ml und bei der Laufbandergometrie zwischen 11,1 und 28,4 ml.

- 7) Die durchschnittliche PWC_{170} lag bei den Untrainierten zwischen 217 ± 45 Watt (Fahrrad) und 96 ± 49 Watt (Laufband) bei den Trainierten zwischen 263 ± 42 Watt (Fahrrad) und 142 ± 69 Watt (Laufband). Die Leistungssportler erzielten durchschnittlich 209 ± 68 Watt bei ihrer Laufbanduntersuchung.

Im einzelnen schwankten die Werte zwischen 132 und 319 Watt bei der Fahrradergometrie und 25

und 301 Watt bei der Laufbandergometrie.

- 8) Die Ergebnisse der PWC_{170} berechtigen zu der Aussage, daß eine Bestimmung dieses Parameters bei der Laufbanduntersuchung, vor allem von Untrainierten, nicht sinnvoll ist, da durch die hohe Kreislaufwirkung dieser Belastungsform ungenaue und zum Teil irreelle Werte bestimmt werden.
- 9) Allgemein zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, daß bei Laufbanduntersuchungen schon bei geringen Belastungsstufen eine hohe Kreislaufwirkung erzielt wird, wodurch vor allem Untrainierte und Muskelschwache optimal ausgelastet werden können.

IX. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) ADAMS, F. H., L. M. LINDE und H. MIYAKE:

The physical working capacity
of normal school children
I. California Pediatrics 28,
55-64 (1961)

- 2) ANSCHÜTZ, F.:

Blutdruckmessung beim Erwachsenen
Zeitschrift Diagnostik, 1, 97-100
(1968)

- 3) ASTRAND, P. O.:

Experimental Studies of Physical
Working in Relation to Sex and Age
Kopenhagen: Munksgaard 1952

- 4) ASTRAND, P. O. und B. SALTIN:

Oxygen uptake during the first
Minutes of heavy muscular work
J. Appl. Physiol. 16, 971-976
(1961)

- 5) ASTRAND, P. O. und I. ASTRAND:

Heart rate during muscular work
in man exposed to prolonged hypoxia
J. Appl. Physiol. 13, 75-80 (1958)

- 6) BALKE, B.:

Optimale körperliche Leistungs-
fähigkeit, ihre Messung und Ver-
änderung infolge Arbeitsermüdung
Arbeitsphysiologie 15: 311-323
(1954)

- 7) BARTEL, W.: Die Bedeutung unterschiedlicher wöchentlicher Trainingshäufigkeit bei definierter Reizintensität und -dauer für die Entwicklung der physischen Leistungsfähigkeit
Med. und Sport XVII 1, 18-27 (1977)
- 8) BENGTSON, E.: The working capacity in normal children evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults
Acta Med Scand. 154, 91-109 (1956)
- 9) CHRISTENSEN, E. H.: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit
IV: Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit
Arbeitsphysiologie 4, 453-469 (1931)
- 10) GALLE, L.: Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten von Atem- und Kreislauffunktionen bei verschiedenen Formen maximaler ergometrischer Arbeit
Inaug. Diss. FU Berlin (1961)
- 11) GAUER, O. H.: Anleitungen zum physiologischen Praktikum
Physiologisches Institut FU Berlin (1964)
- 12) GRASER, F.: Zur Bestimmung der körperlichen Arbeitskapazität (PWC_{170}) bei Kindern im Schulalter
II. Intern. Seminar f. Ergometrie 233-234, Berlin Ergon Verlag (1967)

- 13) HENDERSON, Y. and A. L. PRINCE:
The oxygen pulse and the systolic
discharge
Amer. J. Physiol. 35, 106-115 (1914)
- 14) HERMANSEN, L. und B. SALTIN:
Oxygen uptake during maximal
treadmill and bicycle exercise
J. Appl. Physiol. 26, 31-37 (1969)
- 15) HOLLMANN, W.:
Körperliches Training als Präven-
tion von Herz- und Kreislaufkrank-
heiten
Stuttgart Hippokrates Verlag (1965)
- 16) HOLLMANN, W.:
Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit
des Sportlers - Spiroergometrische
Beurteilung und Untersuchungsergeb-
nisse von männlichen und weiblichen
Personen des 1. bis 8. Lebensjahr-
zehnts
Verlag J. A. Barth, München 1963
- 17) HOLLMANN, W.:
Der Arbeits- und Trainingseinfluß
auf Kreislauf und Atmung
Kreislauf-Bücherei, Bd. 17,
Darmstadt: Steinkopff-Verlag 1959
- 18) HOLLMANN, W., VENRATH, H., VALENTIN, H.,
SPELLERBERG, B.:
Über den arteriellen Blutdruck beim
Menschen während dosiert körper-
licher Belastung
Zeitschrift Kreislauf-Forschung 48,
162-167 (1959)

19) HOLLMANN, W. und Mitarbeiter:

Über das Verhalten spiroergometrischer Meßgrößen bei Radrennfahrern auf dem Laufband und auf dem Fahrradergometer
Sportarzt und Sportmedizin 7,
153-158 (1971)

20) HOLLMANN, W., H. HECK, B. SCHMÜCKER, A. STOLTE:

Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen
Sportarzt und Sportmedizin 6,
123-132 (1971)

21) ISRAEL, S.:

Die Proportionalität von Herzfrequenz- und Belastungsanstieg
Med. und Sport 16, 53-55 (1976)

22) ISRAEL, S.:

Sport, Herzgröße und Herz-Kreislauf-Dynamik
Sportmed. Schriftenreihe 3, 1-115
Leipzig (1968)

23) ISRAEL, S.:

Zur Problematik der maximalen Herzschlagfrequenz bei Sportlern
Med. und Sport 10, 193-200 (1970)

24) ISRAEL, S. und E. KÖHLER:

Die Abhängigkeit der Belastungs-herzschlagfrequenz vom kardialen Leistungsvermögen
Z. Ärztl. Fortbildung Jena 66,
413-416 (1972)

- 25) ISRAEL, S., H. KUPPARDT, K. GOTTSCHALK, G. NEUMANN,
P. BÖHME:
Die submaximale Herzfrequenz als
leistungsdiagnostische Kenngröße
Med. und Sport 14, 297-304 (1974)
- 26) JOSS, E.:
Spiroergometrische Meßgrößen
Helvet. Med. Acta 26, 24-48 (1959)
- 27) KALTENBACH, M.:
Die Belastungsuntersuchungen von
Herzkranken
Kardiologische Diagnostik,
Studienreihe
Boehringer Mannheim (1974)
- 28) KARRASCH, K. und E. A. MÜLLER:
Arbeitsphysiologie 14
369-382 (1951)
- 29) KEIDEL, W.:
Kurzgefaßtes Lehrbuch der
Physiologie
Thieme Verlag Stuttgart (1973)
- 30) KIRCHHOFF, H. W., H. REINDELL, A. GEBAUER:
Untersuchungen über die Sauerstoff-
aufnahme, Kohlensäureabgabe, das
Atemminutenvolumen, Atemäquivalent
und den respiratorischen Quotienten
während körperlicher Belastung bei
Normalpersonen und Hochleistungs-
sportlern
Dtsch. Arch. klin. Med. 203,
423-447 (1956)

- 31) KIRCHHOFF, H. W., V. SILL:

Die Stellung der Laufbandergometrie
im Rahmen der Leistungsmedizin
in: Kongreßbericht des II. Inter-
nationalen Seminar für Ergo-
metrie

Hrsg. v. H. Mellerowicz und
G. Hansen, Seite 89-97
Berlin: Ergon-Verlag 1967

- 32) KIRCHHOFF, H. W., J. D. MEYER-ERKELENZ:

Präventive Kardiologie in der Bun-
deswehr

Zeitschrift Wehrdienst und Gesund-
heit Band XVIII

Wehr und Wissen Verlagsgesellschaft
Darmstadt

- 33) KÖNIG, K., H. REINDELL, K. MUSSHOFF, H. ROSKAMM,
M. KESSLER:

Das Herzvolumen und die körperliche
Leistungsfähigkeit bei 20- bis
60-jährigen gesunden Männern
Archiv f. Kreislaufforschung 35
37-66 (1961)

- 34) KÖNIG, K., J. MURUKAS, H. ROSKAMM, H. REINDELL:

Das Verhalten von Atemvolumen und
Af in Ruhe und bei Ergometerbe-
lastung bei Jugendlichen sowie bei
trainierten und untrainierten Er-
wachsenen

Sportarzt u. Sportmedizin 16:
395-408 (1965)

35) KOLLEGIUM BIOMATHEMATIK NW:

Biomathematik für Mediziner
Springer Verlag Berlin,
Heidelberg, New York (1975)

36) KRAUSE, R.:

Die maximale Sauerstoffaufnahme
als Kriterium der kardiopulmona-
len Leistungsfähigkeit
Inaug. Diss., Lübeck 1971

37) KÜCHLIN, J.:

Physiologische Untersuchungen
beim Ratzeburger Kraft- und Winter-
training der Ruderer
Inaug. Diss., Med. Hochschule
Lübeck 1975

38) MADER, A., H. LIESEN, H. HECK, H. PHILIPPI, R. ROST,
P. SCHÜRICH, W. HOLLMANN:

Zur Beurteilung der sportartspezi-
fischen Ausdauerbelastung im Labor
Sportarzt und Sportmedizin 4,
80-88 (1976)

39) MELLEROWICZ, H.:

Ergometrie, 3. Auflage,
München: Urban und Schwarzenberg
1979

40) MELLEROWICZ, H., H. REINDELL, W. HOLLMANN,
H. MIES, H. ROSKAMM:

Vorschläge zur Standardisierung der
ergometrischen Leistungsmessung
Zschr. Kreislauff. 50, 273-281
(1961)

- 40a) MELLEROWICZ, H. und P. NOWACKI:

Vergleichende Untersuchungen von
Atem- und Kreislauffunktionen bei
physikalisch gleicher ergometri-
scher Arbeit im Stehen, Sitzen und
Liegen
Zschr. Kreislauff. 50, 273-281 (1961)

- 41) MELLEROWICZ, H. und W. MELLER:

Training
Springer Verlag Berlin,
Heidelberg, New York (1972)

- 42) MOCELLIN, R. und J. RUTENFRENZ:

Methodische Untersuchungen zur Be-
stimmung der körperlichen Leistungs-
fähigkeit (PWC_{170}) im Kindesalter
Z. Kinderheilkunde 108, 61-80 (1970)

- 43) MÜLLER, E. A.:

Die Pulszahl als Kennzeichen für
Stoffaustausch und Ermüdbarkeit
des arbeitenden Muskels
Arbeitsphysiologie 12, 92-104 (1942)

- 44) MÜLLER, E. A.:

Physiologie der körperlichen
Leistungsfähigkeit
in: Landois-Rosemann: Lehrbuch der
Physiologie des Menschen
28. Aufl., Bd. II, 488-546
Urban und Schwarzenberg, München-
Berlin 1962

- 45) MUSSHOFF, K., H. REINDELL, H. STEIM, K. KÖNIG:
Die Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag als Funktion des Schlagvolumens, der arteriovenösen Differenz, des Minutenvolumens und des Herzvolumens
Z. für Kreislaufforschung 48, 255-277 (1959)
- 46) NÖCKER, J.: Physiologie der Leibesübung
Enke Verlag Stuttgart (1964)
- 47) NÖCKER, J. und V. BÖHLAU:
Der Sauerstoffpuls in Abhängigkeit vom Lebensalter
Verh. der Dt. Ges. f. Kreislaufforschung 24, 225-231 (1958)
- 48) NÖCKER, J. und V. BÖHLAU:
Die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von Alter und Geschlecht
Münchener Med. Wochenschrift 97, 1517 (1955)
- 49) NOWACKI, P. E.: Die Objektivierung der körperlichen und kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit mit einfachen und komplizierten Methoden
Sonderdruck aus: Physiotherapie 65, Heft 10, 1-12 (1974)
- 50) NOWACKI, P. E.: Sportmedizinische und leistungsphysiologische Aspekte des Ruderns in: Rudertraining

von Adam, K., Lenk, H.,
Nowacki, P.E., Rulffs, M.,
Schröder, W. S. 251-615
Limpert-Verlag, Bad Homburg 1977

- 51) NOWACKI, P. E.:
Luftdruck, Temperatur und sport-
liche Leistung
Rudersport (Trainer-Journal) 3,
7 und 9/76
- 52) NOWACKI, P. E., K. ADAM, R. KRAUSE, M. RULFFS:
Über die kardiopulmonale Leistungs-
fähigkeit des Deutschlandachters
vor seinem Olympiasieg 1968
Sportarzt und Sportmedizin 22,
227-229 (1971)
- 53) NOWACKI, P. E. und H. UTHGENANNT:
Das Sportharz
Sonderdruck Physiotherapie
Heft 5 (1976)
- 54) NOWACKI, P. E.:
Persönliche Mitteilungen
- 55) POLLOK, M.:
A comparative analysis of four
protocols for maximal treadmill
stress testing
Am. Heart Journal 92, 39-46 (1976)
- 56) REINDELL, H., K. KÖNIG, H. ROSKAMM:
Funktionsdiagnostik des gesunden
und kranken Herzens
Stuttgart Thieme Verlag (1963)

- 57) REINDELL, H., H. KLEPZIG, K. MUSSHOF:

Das Sporthertz
Handbuch der Inneren Medizin IX/1
913-951 Springer Verlag (1960)

- 58) ROBINSON, S.:

Experimental studies of physical
fitness in relation to age
Arbeitsphysiologie 10, 251-323
(1938)

- 59) ROSKAMM, H.:

Funktionsprüfung von Herz und
Kreislauf
Kurzmonographie Sandoz 2
1-40, Nürnberg (1971)

- 60) ROSKAMM, H., P. BECKHOVE, H. REINDELL:

Die Herzfrequenz im Training und
im Wettkampf des Hochleistungs-
sportlers
Sportarzt u. Sportmedizin 16,
439-453 (1965)

- 61) ROSKAMM, H., H. REINDELL, H. MÜLLER:

Herzgröße und ergometrisch ge-
testete Ausdauerleistungsfähig-
keit bei Hochleistungssportlern
aus neun deutschen Nationalmann-
schaften
Z. Kreislaufforschung 55, 2-14
(1966)

- 62) ROSKAMM, H., L. SAMEK, H. WEIDEMANN, H. REINDELL:

Leistung und Höhe
Chemische Fabriken Knoll AG
Ludwigshafen (1968)

- 63) ROSENTHAL, P., H. J. VÖLPEL:

Vergleichende kardio-respiratorische Funktionsprüfung bei erfolgreichen jugendlichen Handballspielern und Ruderern bei maximaler Ausbelastung auf dem Fahrradergometer und dem Laufband nach der Watt/kg-Methode

Inaug. Diss. JLU Gießen
z. Zt. in Vorbereitung

- 64) ROSSIER, P. H., A. BÜHLMANN, K. WIESINGER:

Physiologie und Pathophysiologie der Atmung

Springer Verlag Berlin,
Heidelberg, New York (1958)

- 65) RUTENFRANZ, J.:

Entwicklung und Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen
Bibliotheca Paediatrica Fasc. 82
S. Karger Basel - New York (1964)

- 66) RUTENFRANZ, J. und T. HETTINGER:

Untersuchungen über die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung
Z. Kinderheilkunde 83, 65-88 (1959)

- 67) SACHS, L.:

Angewandte Statistik
Springer Verlag Berlin,
Heidelberg, New York

- 68) SCHNEIDER, K. W., R. ROST, W. GATTENLÖHNER:
Kreislauffunktion beim Sportler
Hämodynamische Untersuchungen mit
der Indikatorverdünnungsmethode
Schattauer Verlag Stuttgart -
New York (1970)
- 69) STEGEMANN, J.: Leistungswissenschaft
Thieme Verlag, Stuttgart (1977)
- 70) SZAKALL, A.: Arbeitsphysiologie 73, 9-16
(1944)
- 71) WAHLUND, H.: Determination of the physical
working capacity. A physiological
and clinical study with special
reference to standardisation of
cardiopulmonary functional tests.
Acta Med. Scand. Suppl. 215, 1-78
Stockholm (1948)
- 72) WALTHER, H.: Biomathematik für Mediziner
Teubner Studienbücher
Stuttgart (1974)
- 73) WEIDEMANN, H., L. GÖRNANDT, H. ROSKAMM, L. SAMEK,
H. REINDELL:
Herzfrequenzmessungen mit EKG-
Speichergeräten beim Weltmeister-
schaftstraining von Hochleistungs-
sportlern
Medizin u. Sport 8, 85-89 (1968)

- 74) WETTICH, P.: Neue Aspekte der Laufbandergometrie im Vergleich zur Fahrradergometrie während und nach erschöpfender gewichtsbezogener Belastung bei trainierten und untrainierten Männern unter besonderer Berücksichtigung von Gesamt-O₂-Aufnahme, Sauerstoffschuld, Gesamt-CO₂-Ausscheidung und Wirkungsgrad.
Inaug. Diss. JLU Gießen
z. Zt. in Vorbereitung
- 75) ZIMMER, K. R.: Neue Aspekte der Laufbandergometrie im Vergleich zur Fahrradergometrie während und nach erschöpfender gewichtsbezogener Belastung bei trainierten und untrainierten Männern unter besonderer Berücksichtigung von Sauerstoffaufnahme, Atemäquivalent und Ventilations-RQ.
Inaug. Diss. JLU Gießen
z. Zt. in Vorbereitung
- 76) BOBBERT, A.C.: Energy expenditure in level and grade walking. J. appl. Physiol. 15 (1960) 1015-1021
- 77) MARGARIA, R. et al.: Energy cost of running. J. appl. Physiol. 18 (1963) 367-370
- 78) KATTUS, A.A. ed.: Exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook for physicians, Appendix A. American Heart Association, New York 1972, p. 25

X. A n h a n g

In den folgenden Tabellen 7 bis 22 sind die Minuten-durchschnittswerte und ihre Standardabweichungen s von allen untersuchten Parametern bei der Fahrrad- und Laufbandergometrie angegeben.

Die in der vorliegenden Arbeit nicht behandelten Parameter sind bei WETTICH (74) und ZIMMER (75) ausführlich beschrieben.

FAHRRAD - ERGOMETER

TRAINIERT

	n	min	Hf		O ₂ ml		O ₂ /Hf ml		O ₂ /kg m		O ₂ /Hf kg		CO ₂ ml		RQ		AMV l		Af		AZV ml		AÄ	
			$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Belastung	20	Ruhe	74	11	321	81	4,5	1,5	4,3	1,0	0,06	0,02	271	66	0,86	0,09	10,3	2,5	16	4	609	180	33,1	4,5
	20	1	108	11	719	161	6,8	1,5	9,7	2,2	0,09	0,02	588	129	0,84	0,08	19,8	4,0	20	5	1026	300	28,6	3,3
	20	2	111	11	1220	164	11,1	1,9	16,4	1,6	0,15	0,02	965	149	0,78	0,08	27,6	4,0	21	4	1270	386	22,7	2,6
	20	3	133	8	1449	196	11,7	1,8	20,7	1,9	0,16	0,02	1313	186	0,85	0,07	36,3	5,7	25	4	1490	237	23,7	2,6
	20	4	143	9	2006	229	14,1	2,3	26,9	2,1	0,19	0,02	1868	236	0,93	0,07	48,5	6,9	25	4	1939	308	24,2	2,8
	20	5	161	8	2390	223	14,9	2,0	31,9	2,6	0,20	0,02	2411	264	1,01	0,06	63,3	9,3	30	4	2131	313	26,6	3,0
	20	6	169	7	2869	303	17,0	2,3	38,3	3,1	0,23	0,03	3070	359	1,08	0,08	80,7	13,6	33	5	2486	372	28,1	3,8
	20	7	178	8	3251	317	18,4	2,1	43,7	3,9	0,25	0,03	3806	471	1,17	0,11	106,6	19,6	42	7	2577	360	32,8	5,5
Erholung	9	8	186	6	3411	565	18,4	3,2	46,5	5,5	0,25	0,03	4237	557	1,26	0,11	116,2	19,5	44	6	2625	271	35,4	5,8
	20	1	158	11	2459	443	15,1	3,1	31,7	5,1	0,20	0,04	3294	470	1,41	0,14	92,6	14,9	34	5	2702	365	40,6	8,2
	20	2	140	11	1485	210	10,5	1,7	19,5	2,3	0,14	0,02	2083	276	1,43	0,09	66,5	11,6	30	5	2244	308	45,8	6,1
	20	3	129	11	1282	167	9,8	1,5	16,7	1,8	0,13	0,02	1617	293	1,26	0,10	53,0	8,4	28	4	1892	281	42,6	5,4
	20	4	123	11	1152	159	9,5	1,5	15,6	2,0	0,13	0,02	1357	156	1,18	0,09	47,6	7,5	28	4	1728	251	41,6	5,9
	20	5	113	13	958	180	8,7	1,9	12,8	2,1	0,12	0,02	1087	173	1,15	0,11	39,2	7,2	24	7	1584	220	39,8	5,5

Tab. 7 Minutendurchschnittswerte aller registrierten Parameter mit Standardabweichungen (s) bei der Fahrradergometrie der Trainierten

FAHRRAD - ERGOMETER

UNTRAINIERT

	n	min	Hf		O ₂ ml		O ₂ /Hf ml		O ₂ /kg ml		O ₂ /Hf kg ml		CO ₂ ml		RQ		AMV l		Af		AZV ml		ÄÄ	
			$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.	$\bar{x}$	s.e.
Belastung	20	Kump	82	14	387	120	4,9	1,6	5,0	1,5	0,07	0,02	300	97	0,77	0,07	10,8	4,1	18	4	681	208	29,6	3,7
	20	1	117	14	736	167	6,3	2,0	9,5	2,7	0,07	0,02	554	121	0,78	0,08	19,6	4,3	20	5	1024	298	28,0	3,9
	20	2	126	14	1292	274	10,5	3,2	15,7	4,4	0,13	0,03	1020	267	0,78	0,05	28,5	8,3	21	6	1528	537	23,4	3,0
	20	3	146	13	1624	279	11,2	2,8	20,1	4,8	0,14	0,02	1414	274	0,89	0,09	33,8	10,6	24	6	1786	536	25,5	4,5
	20	4	157	13	2114	358	13,7	3,2	28,3	3,4	0,17	0,02	2077	323	0,98	0,08	55,5	11,2	26	8	2228	541	27,2	5,4
	20	5	173	9	2466	453	14,3	2,9	30,8	4,4	0,18	0,02	2593	434	1,07	0,11	75,0	18,2	33	9	2378	544	31,3	7,8
Erholung	9	6	184	8	2790	614	16,0	3,8	32,6	5,9	0,18	0,02	3296	756	1,15	0,07	90,3	18,1	36	8	2647	806	31,8	4,3
	20	1	167	16	2201	482	14,0	3,5	31,1	5,7	0,18	0,02	2704	589	1,24	0,07	75,2	15,0	30	6	2557	545	34,5	8,0
	20	2	144	12	1471	283	10,7	2,9	20,4	3,0	0,15	0,03	1881	413	1,27	0,11	59,8	13,4	27	6	2244	534	40,4	7,1
	20	3	139	13	1259	229	9,6	2,4	16,4	2,4	0,14	0,03	1458	321	1,10	0,07	48,5	10,2	26	6	1905	438	38,8	6,1
	20	4	132	22	1179	194	9,5	2,2	15,8	2,7	0,13	0,03	1239	235	1,06	0,08	42,5	9	25	6	1807	440	36,1	5,7
	20	5	118	14	985	164	8,5	2,0	14,9	2,6	0,11	0,03	1023	196	0,99	0,10	35,5	6,7	23	6	1564	411	36,4	5,9

Tab. 8 Minutendurchschnittswerte aller registrierten Parameter mit Standardabweichungen (s) bei der Fahrrad-ergometrie der Untrainierten

Tab. 9 Durchschnittliche Blutdruckwerte der Untrainierten und Trainierten vor, während und nach der Fahrradergometrie

B l u t d r u c k

RR-UNTRAINIERTE - Fahrradergometer-Mittelwerte in mm Hg						
Ruhe-RR	Belastung 2. Min.	Belastung 4. Min	Erholungszeit			
			1	2	3	4
					5	Minuten
140/90	165/90	190/90	190/85	175/80	165/80	160/80
					150/80	

RR-TRAINIERTE - Fahrradergometer-Mittelwerte in mm Hg						
Ruhe-RR	Belastung 2. Min.	Belastung 4. Min.	Erholungszeit			
			1	2	3	4
					5	Minuten
130/85	165/85	180/85	200/80	185/75	170/75	165/75
					155/75	

Tab. 10 Durchschnittliche Blutdruckwerte der
 Untrainierten und Trainierten in den
 Erholungsphasen der Laufbandergometrie

<u>LAUFBAND - Blutdruckmittelwerte in mm Hg</u>		
	UNTRAINIERTE	TRAINIERTE
Ruhe-RR	140/90	140/85
I. Erholungsphase		
7	195/70	180/70
8	185/70	165/75
9	170/75	150/85
10	160/80	140/85
11	160/85	135/85
II. Erholungsphase		
18	200/65	185/60
19	185/70	170/70
20	165/75	155/80
21	155/80	140/90
22	150/85	135/85
III. Erholungsphase		
29	200/80	195/55
30	185/75	180/65
31	175/80	155/75
32	160/80	145/80
33	150/85	140/85
IV. Erholungsphase		
40	210/75	195/55
41	190/75	180/65
42	175/75	165/70
43	155/80	150/75
44	140/85	145/80

LAUFBAND-ERGOMETER - Trainiert

n	min	O ₂ -Aufnahme ml		O ₂ /kg ml		CO ₂ -Abgabe ml	
		$\bar{x}$	S ±	$\bar{x}$	S ±	$\bar{x}$	S ±
20	Ruhe	358	118	4,8	1,4	296	94
20	1	1263	308	16,9	3,7	988	277
20	2	2447	334	33,4	3,6	2064	384
20	3	2570	300	34,5	3,6	2342	473
20	4	2621	322	35,2	4,0	2406	460
20	5	2699	360	36,2	4,2	2463	491
20	6	2689	366	36,0	4,2	2444	405
20	7	2010	344	26,5	4,3	1858	379
20	8	1090	279	14,5	3,4	1119	380
20	9	625	201	8,3	2,4	667	880
20	10	477	138	6,4	1,7	502	187
20	11	446	104	6,0	1,2	459	180
20	12	1348	380	17,9	4,5	1246	308
20	13	2605	291	34,9	3,0	2207	270
20	14	2793	300	37,5	3,2	2473	279
20	15	2873	309	38,5	3,3	2605	330
20	16	2884	318	38,7	3,6	2666	348
20	17	2921	343	39,2	3,8	2679	367
20	18	2194	401	29,4	4,8	2061	404
20	19	1073	256	14,4	3,2	1141	298
20	20	687	211	9,2	2,8	750	239
20	21	480	142	6,5	2,0	511	154
20	22	440	92	5,8	1,0	465	100
20	23	1434	267	19,2	8,8	1314	357
20	24	3038	422	40,1	4,2	2569	310
20	25	3248	390	43,5	3,8	3038	354
20	26	3180	781	42,1	4,7	3317	393
18	27	3444	332	46,2	3,8	3220	346
18	28	3365	722	45,1	3,7	3589	870
20	29	2611	353	35,3	3,7	2818	435
20	30	1289	239	17,3	2,8	1463	895
20	31	835	238	11,2	3,1	946	896
20	32	563	201	7,9	2,6	643	193
20	33	484	131	6,5	1,7	583	158
14	34	1669	257	22,3	3,8	1350	807
14	35	3454	323	46,1	3,7	3017	330
14	36	3766	365	50,2	3,7	3881	435
10	37	3861	463	58,7	4,0	3895	485
7	38	3817	178	58,3	2,4	4073	445
7	39	3961	459	54,3	4,0	4878	481
14	40	2965	339	39,3	4,0	3857	483
14	41	1591	312	21,8	4,4	1898	345
14	42	1027	353	13,7	5,0	1833	437
14	43	711	273	9,5	3,9	793	384
14	44	606	212	8,1	3,1	648	291

Tab. 11 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme und der Kohlendioxydabgabe bei der Laufbandergometrie der Trainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Trainiert

n	min	AMV l		Af		AZV ml	
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±
20	Ruhe	11,1	3,6	19	4	601	117
20	1	12,1	7,8	17	11	73	169
20	2	17,1	12,6	15	6	1054	124
20	3	62,8	15,9	11	7	1940	421
20	4	61,7	15,9	12	8	2067	452
20	5	64,6	15,1	11	8	1996	450
20	6	65,2	15,1	11	9	2015	426
20	7	49,7	11,5	29	5	1790	148
20	8	13,1	9,2	26	5	1254	426
20	9	21,6	6,2	22	5	952	280
20	10	17,4	5,0	20	6	881	209
20	11	16,5	3,8	21	4	770	173
20	12	10,6	10,5	11	7	1310	370
20	13	19,7	9,9	11	8	2014	453
20	14	61,1	11,6	12	8	2118	465
20	15	67,4	13,0	13	8	2141	492
20	16	69,0	13,4	12	9	2119	692
20	17	69,9	14,2	13	8	2191	415
20	18	54,2	11,5	29	6	1945	195
20	19	13,5	8,0	24	4	1382	289
20	20	23,7	6,3	23	6	1071	140
20	21	17,9	4,6	21	6	873	299
20	22	16,7	3,7	21	5	793	155
20	23	41,2	8,0	28	7	1505	325
20	24	64,5	17,1	11	8	2265	453
20	25	80,1	15,4	14	8	2441	452
20	26	85,7	17,8	16	9	2494	465
18	27	89,0	19,5	17	9	2467	471
18	28	95,3	19,5	16	8	2449	324
20	29	72,4	14,2	13	6	2222	327
20	30	42,9	9,5	29	7	1514	356
20	31	30,4	7,5	25	8	1234	490
20	32	22,1	6,6	21	6	1075	297
20	33	16,3	4,8	22	6	860	249
14	34	46,0	8,1	29	6	1608	254
14	35	80,5	14,4	14	9	2416	566
14	36	97,7	20,0	19	10	2604	484
10	37	100,9	20,3	40	8	2543	300
7	38	102,2	19,2	41	8	2521	320
7	39	108,4	20,3	42	8	2590	330
14	40	86,9	15,9	14	7	2614	444
14	41	54,4	10,9	29	7	1881	570
14	42	38,4	11,9	26	8	1596	620
14	43	26,6	9,2	24	7	1116	585
14	44	22,7	7,1	24	6	974	284

Tab. 12 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Atemminutenvolumens, der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens bei der Laufbandergometrie der Trainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Trainiert

n	min	Hf		O ₂ /Hf ml		O ₂ /Hf · kg ml	
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±
20	Ruhe	79	18	4,9	2,4	0,064	0,003
20	1	145	15	8,9	2,2	0,119	0,023
20	2	147	15	16,9	2,4	0,226	0,026
20	3	148	12	17,4	2,1	0,235	0,024
20	4	150	15	17,6	2,5	0,235	0,029
20	5	152	11	17,9	2,6	0,237	0,050
20	6	151	12	17,8	2,7	0,238	0,050
20	7	125	19	16,8	5,6	0,225	0,046
20	8	105	14	10,4	2,8	0,159	0,055
20	9	96	16	6,6	2,0	0,089	0,024
20	10	95	16	5,2	1,7	0,069	0,021
20	11	97	15	4,5	1,1	0,060	0,012
20	12	148	12	9,1	2,5	0,118	0,054
20	13	157	12	16,7	2,5	0,219	0,029
20	14	159	12	17,6	2,5	0,237	0,028
20	15	160	12	18,0	2,4	0,242	0,029
20	16	162	15	17,8	2,4	0,239	0,029
20	17	165	12	17,9	2,5	0,241	0,029
20	18	158	18	17,4	4,0	0,230	0,052
20	19	112	16	9,6	2,5	0,129	0,052
20	20	107	17	6,5	2,2	0,088	0,029
20	21	102	15	4,8	1,4	0,064	0,019
20	22	102	17	4,5	1,1	0,057	0,014
20	23	158	12	9,00	1,6	0,120	0,019
20	24	169	11	17,0	2,5	0,239	0,050
20	25	172	10	18,9	2,5	0,255	0,027
20	26	175	10	19,5	2,6	0,257	0,029
18	27	174	8	19,8	1,7	0,265	0,020
18	28	177	10	20,1	2,0	0,270	0,022
20	29	145	15	18,5	2,4	0,248	0,057
20	30	125	18	10,4	2,4	0,144	0,050
20	31	116	15	7,1	2,0	0,096	0,024
20	32	111	17	5,5	1,8	0,071	0,025
20	33	115	15	4,5	1,2	0,057	0,014
14	34	168	15	10,2	1,5	0,159	0,016
14	35	174	9	19,7	1,4	0,265	0,020
14	36	180	8	20,9	2,0	0,280	0,025
10	37	181	9	21,4	2,2	0,290	0,021
7	38	179	8	21,5	2,0	0,290	0,021
7	39	180	7	22,0	2,7	0,300	0,025
14	40	190	21	19,8	2,9	0,264	0,052
14	41	186	17	18,6	2,5	0,260	0,051
14	42	117	16	8,9	2,6	0,118	0,056
14	43	115	16	6,4	2,2	0,084	0,051
14	44	115	16	5,4	1,8	0,072	0,026

Tab. 13 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) der Herzfrequenz sowie des absoluten und relativen Sauerstoffpulses bei der Laufbandergometrie der Trainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Trainiert

n	min	RQ		AA ^m		$\bar{x}$	s ±
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±		
20	Ruhe	0,85	0,11	12,1	3,8		
20	1	0,80	0,07	27,0	2,3		
20	2	0,82	0,09	22,7	2,9		
20	3	0,90	0,13	24,2	5,4		
20	4	0,91	0,11	24,6	4,5		
20	5	0,90	0,09	24,3	4,1		
20	6	0,90	0,08	24,2	3,9		
20	7	0,92	0,09	24,9	3,7		
20	8	1,03	0,14	31,0	5,2		
20	9	1,06	0,16	35,3	5,8		
20	10	1,07	0,16	37,2	5,5		
20	11	1,03	0,15	37,5	5,2		
20	12	0,99	0,12	31,1	5,3		
20	13	0,85	0,07	23,0	3,3		
20	14	0,89	0,06	23,4	3,5		
20	15	0,90	0,08	23,9	4,0		
20	16	0,93	0,09	24,1	4,4		
20	17	0,92	0,08	24,0	4,5		
20	18	0,94	0,09	25,1	4,2		
20	19	1,06	0,16	32,2	6,3		
20	20	1,07	0,14	35,3	6,0		
20	21	1,06	0,13	37,5	5,6		
20	22	1,05	0,11	38,5	3,6		
20	23	1,00	0,10	31,3	4,4		
20	24	0,86	0,08	22,8	4,5		
20	25	0,97	0,10	24,9	5,2		
20	26	0,99	0,12	25,9	5,7		
18	27	0,98	0,08	25,9	6,0		
18	28	0,99	0,09	27,0	6,0		
20	29	1,05	0,12	28,1	5,9		
20	30	1,15	0,13	34,1	8,2		
20	31	1,17	0,14	37,8	7,7		
20	32	1,15	0,09	39,2	6,3		
20	33	1,10	0,11	38,3	6,2		
14	34	1,00	0,08	29,9	2,6		
14	35	0,98	0,04	23,1	3,6		
14	36	1,02	0,07	26,1	4,3		
10	37	1,04	0,07	26,1	3,5		
7	38	1,07	0,09	26,8	4,9		
7	39	1,08	0,12	27,5	5,7		
14	40	1,09	0,09	29,3	3,9		
14	41	1,18	0,18	35,1	7,4		
14	42	1,17	0,18	38,3	7,9		
14	43	1,11	0,15	37,7	8,8		
14	44	1,06	0,14	38,2	7,7		

Tab. 14 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Respiratorischen Quotienten und des Atemäquivalentes bei der Laufbandergometrie der Trainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Untrainiert

n	min	O ₂ -Aufnahme ml		O ₂ /kg ml		CO ₂ -Abgabe ml	
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±
18	Ruhe	366	123	4,8	1,5	315	116
18	1	1306	423	17,2	5,4	1050	353
18	2	2603	381	34,0	4,8	2352	379
18	3	2679	403	34,6	5,1	2698	408
18	4	2799	456	36,2	5,2	2830	414
18	5	2882	389	37,1	4,4	2842	363
18	6	2879	415	38,0	5,1	2884	377
18	7	2349	344	30,4	3,6	2347	326
18	8	1307	279	17,2	3,4	1487	324
18	9	808	247	10,6	3,4	944	261
18	10	680	226	8,6	3,1	747	252
18	11	599	176	7,7	1,7	690	211
18	12	1530	317	22,3	5,4	1488	280
18	13	2774	384	35,9	5,1	2421	323
18	14	2979	388	38,3	4,7	2766	376
18	15	3058	356	39,8	4,1	3033	435
18	16	3217	416	41,2	5,4	3156	437
18	17	3239	277	42,0	3,2	3241	401
18	18	2521	309	33,0	3,2	2584	373
18	19	1424	301	18,5	2,9	1572	317
18	20	958	307	12,1	3,7	1075	326
18	21	718	258	9,2	3,3	787	221
18	22	573	181	7,4	2,5	606	162
7	23	1663	324	21,3	4,2	1611	358
7	24	3306	368	42,8	5,6	2921	261
7	25	3546	450	46,2	6,7	3418	293
4	26	3723	398	49,5	2,3	3630	578
4	27	3853	441	50,3	2,0	3570	713
4	28	3973	343	52,9	1,8	3880	519
7	29	2728	581	35,5	7,8	3008	351
7	30	1459	320	19,0	4,6	1806	267
7	31	955	319	12,4	4,9	1144	395
7	32	787	364	10,9	5,1	932	389
7	33	983	256	7,5	3,0	597	209
2	34	2005	-	28,0	-	1853	-
2	35	3625	-	50,4	-	3138	-
2	36	3795	-	52,7	-	3685	-
2	37	3595	-	49,9	-	3873	-
2	38	-	-	-	-	-	-
2	39	-	-	-	-	-	-
2	40	2830	-	39,2	-	3097	-
2	41	1545	-	21,0	-	1687	-
2	42	880	-	12,2	-	1057	-
2	43	735	-	10,2	-	808	-
2	44	615	-	8,2	-	651	-

Tab. 15 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme sowie der Kohlendioxidabgabe bei der Laufbandergometrie der Untrainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Untrainiert

n	min	AMV l		Af		AZV ml	
		$\bar{x}$	$s \pm$	$\bar{x}$	$s \pm$	$\bar{x}$	$s \pm$
14	Ruhe	11,9	4,7	17	5	665	188
14	1	15,0	10,8	24	8	1027	356
14	2	68,7	13,9	12	12	2080	488
14	3	77,0	18,2	34	11	2408	535
14	4	81,4	19,0	36	11	2318	561
14	5	81,0	18,4	38	13	2297	404
14	6	82,5	18,8	37	11	2330	512
14	7	69,2	19,2	32	7	2166	418
14	8	45,6	10,2	28	6	1675	508
14	9	31,4	7,2	24	6	1422	503
14	10	25,6	6,8	21	5	1304	711
14	11	23,5	5,3	22	5	1238	458
14	12	50,2	7,5	31	9	1598	573
14	13	75,8	13,9	35	12	2225	571
14	14	84,2	15,2	38	10	2215	553
14	15	89,0	16,0	39	10	2442	576
14	16	91,6	17,8	40	9	2372	493
14	17	93,8	17,8	41	8	2352	473
14	18	76,4	14,0	33	10	2383	533
14	19	50,4	10,4	29	6	1896	691
14	20	36,3	10,0	27	8	1412	512
14	21	27,8	7,6	24	7	1265	484
14	22	22,3	5,2	23	5	1017	242
7	23	53,1	4,9	34	9	1547	296
7	24	85,1	16,1	40	13	2362	637
7	25	101,3	18,1	41	12	2497	615
4	26	98,3	22,1	41	14	2481	503
4	27	94,8	24,4	42	12	2304	147
4	28	102,3	23,4	46	11	2205	115
7	29	87,3	12,9	40	6	2179	194
7	30	57,2	9,1	36	4	1701	188
7	31	39,4	9,4	28	4	1408	329
7	32	31,9	8,4	27	5	1248	302
7	33	23,6	3,9	26	1	980	149
2	34	53,7		36		1580	
2	35	82,9		42		2020	
2	36	92,9		43		2190	
2	37	101,3		43		2370	
	38	-		-		-	
	39	-		-		-	
2	40	82,0		34		2350	
2	41	50,2		30		1710	
2	42	34,5		24		1460	
2	43	28,2		23		1280	
2	44	24,7		25		980	

Tab. 16 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Atemminutenvolumens, der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens bei der Laufbandergometrie der Untrainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Untrainiert

n	min	Hf		O ₂ /Hf ml		O ₂ /Hf·kg ml	
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±
18	Ruhe	91	16	4,2	1,6	0,050	0,021
18	1	151	17	8,9	3,0	0,115	0,034
18	2	159	14	16,6	3,3	0,214	0,058
18	3	162	13	16,7	3,4	0,216	0,056
18	4	166	13	17,1	3,5	0,221	0,059
18	5	169	13	17,2	3,8	0,222	0,055
18	6	171	13	17,4	3,3	0,224	0,059
18	7	142	12	16,6	3,3	0,215	0,056
18	8	127	19	10,5	2,9	0,154	0,051
18	9	117	16	6,9	2,3	0,088	0,026
18	10	114	17	5,8	2,0	0,075	0,024
18	11	112	17	5,5	1,9	0,068	0,022
18	12	162	16	9,5	2,4	0,124	0,028
18	13	172	15	16,5	3,1	0,215	0,056
18	14	174	13	17,2	3,0	0,225	0,055
18	15	176	14	17,5	3,0	0,226	0,058
18	16	178	14	18,1	3,2	0,235	0,056
18	17	177	13	18,3	1,9	0,237	0,028
18	18	150	16	16,9	3,2	0,218	0,055
18	19	138	16	10,4	2,5	0,159	0,024
18	20	125	17	8,2	2,7	0,102	0,028
18	21	116	15	6,2	2,2	0,080	0,026
18	22	118	18	6,9	1,8	0,062	0,025
7	23	164	8	18,8	2,5	0,141	0,037
7	24	175	10	19,0	2,7	0,247	0,041
7	25	185	15	19,8	3,5	0,250	0,051
8	26	185	11	21,0	1,9	0,280	0,012
8	27	182	11	19,7	3,4	0,260	0,050
8	28	185	18	21,5	1,9	0,286	0,015
7	29	158	24	17,8	4,6	0,232	0,064
7	30	155	19	18,8	3,1	0,170	0,045
7	31	121	21	7,7	2,1	0,101	0,055
7	32	120	23	6,7	2,7	0,089	0,041
7	33	110	115	5,6	1,0	0,071	0,015
8	34	175		11,5		0,160	
8	35	180		20,2		0,280	
8	36	185		20,8		0,290	
8	37	187		19,3		0,270	
8	38	-		-		-	
8	39	-		-		-	
2	40	145		19,8		0,270	
2	41	155		11,9		0,160	
2	42	150		6,9		0,100	
2	43	126		5,9		0,080	
2	44	114		5,4		0,070	

Tab. 17 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) der Herzfrequenz sowie des absoluten und relativen Sauerstoffpulses bei der Laufband-ergometrie der Untrainierten

LAUFBAND-ERGOMETER - Untrainiert

n	min	RQ		ÄÄ ml		$\bar{x}$	s ±
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±		
18	Ruhe	0,87	0,11	32,5	4,4		
18	1	0,84	0,11	28,6	4,7		
18	2	0,93	0,11	26,7	5,5		
18	3	1,02	0,13	28,9	6,3		
18	4	1,02	0,11	29,3	6,7		
18	5	0,99	0,09	28,4	6,6		
18	6	0,98	0,07	28,5	6,9		
18	7	1,01	0,06	29,0	4,8		
18	8	1,13	0,10	35,6	5,6		
18	9	1,16	0,12	40,3	7,5		
18	10	1,13	0,14	40,9	8,9		
18	11	1,11	0,10	40,2	7,1		
18	12	1,03	0,08	35,3	7,1		
18	13	0,88	0,06	26,9	5,2		
18	14	0,94	0,07	28,7	6,0		
18	15	1,00	0,07	29,4	6,1		
18	16	0,97	0,08	28,6	4,8		
18	17	1,00	0,09	28,8	4,6		
18	18	1,02	0,10	30,6	5,4		
18	19	1,13	0,14	35,4	5,6		
18	20	1,13	0,19	38,6	7,7		
18	21	1,11	0,17	39,1	7,5		
18	22	1,05	0,08	39,9	4,6		
7	23	1,06	0,18	34,9	6,0		
7	24	0,89	0,08	25,8	4,7		
7	25	1,00	0,10	27,1	4,7		
4	26	0,97	0,08	26,2	5,8		
4	27	1,00	0,04	26,4	5,0		
4	28	0,97	0,07	26,5	5,7		
7	29	1,05	0,05	30,5	2,7		
7	30	1,14	0,09	36,2	4,9		
7	31	1,13	0,04	38,5	6,0		
7	32	1,06	0,06	40,5	4,5		
7	33	1,04	0,06	40,2	2,8		
2	34	0,96		28,5			
2	35	0,87		22,9			
2	36	0,97		24,5			
2	37	1,08		23,5			
	38	-		-			
	39	-		-			
2	40	1,10		28,7			
2	41	1,16		34,1			
2	42	1,00		39,1			
2	43	1,11		38,4			
2	44	1,06		40,5			

Tab. 18 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Respiratorischen Quotienten und des Atemäquivalentes bei der Laufbandergometrie der Untrainierten

LAUFBAND-ERGOMETER

Hochleistungssportler

n	min	AMV (l)		Af		AZV (ml)	
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±
7	Ruhe	11,2	2,5	20	3	569	108
7	1	34,1	7,7	38	6	906	186
7	2	64,8	14,8	38	4	1687	301
7	3	67,0	16,0	40	5	1656	269
7	4	67,8	14,7	40	6	1705	312
7	5	69,0	11,0	39	5	1765	317
7	6	69,4	11,0	38	5	1809	246
7	7	74,3	11,1	39	4	1900	278
7	8	80,6	13,0	38	4	2099	278
7	9	82,6	15,3	37	4	2228	435
7	10	85,9	13,4	39	3	2231	397
7	11	85,3	14,6	40	6	2166	380
7	12	85,7	15,6	39	5	2215	397
7	13	94,2	16,2	40	4	2340	435
7	14	102,1	21,2	40	4	2533	469
7	15	107,1	18,5	40	6	2609	493
7	16	110,3	23,1	43	2	2540	480
7	17	110,6	26,0	43	3	2575	474
7	18	112,9	26,9	44	3	2546	518
7	19	112,6	23,5	45	5	2516	347
7	20	124,0	23,1	45	5	2748	299
3	21	117,9	24,1	40	2	2912	492
3	22	122,5	22,8	41	3	2981	446
3	23	126,4	23,9	44	3	2863	548
2	24	125,6	29,6	45	2	2807	547
2	25	137,9	36,1	45	2	3083	664
1	26	158,7	-	42	-	3779	-
Erholung	1	102,5	13,8	38	4	2694	489
	2	61,9	9,8	30	6	2111	608
	3	47,7	9,8	29	5	1653	448
	4	33,9	6,9	27	3	1248	245
	5	24,3	5,6	22	4	1108	252

Tab. 19 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Atemminutenvolumens, der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens bei der Laufband-ergometrie der Leistungssportler

LAUFBAND-ERGOMETER

Hochleistungssportler

n	min	O ₂ - Aufnahme (ml)		O ₂ / kg (ml)		CO ₂ - Abgabe (ml)	
		$\bar{x}$	S ±	$\bar{x}$	S ±	$\bar{x}$	S ±
7	Ruhe	336	85	4,7	1,2	276	69
7	1	1249	224	17,7	3,7	944	230
7	2	2823	449	39,9	5,8	2156	444
7	3	2750	338	38,9	5,1	2260	416
7	4	2821	307	39,9	3,7	2342	378
7	5	2860	291	40,4	3,6	2399	269
7	6	2851	323	40,4	4,6	2426	266
7	7	3003	274	42,5	3,1	2585	260
7	8	3400	255	48,1	2,0	2934	337
7	9	3389	352	47,9	4,3	3060	394
7	10	3513	242	49,7	2,1	3124	367
7	11	3453	311	48,8	3,0	3104	377
7	12	3470	355	49,0	3,7	3118	419
7	13	3679	313	52,0	3,1	3449	430
7	14	3951	380	55,8	2,9	3756	510
7	15	4073	394	57,5	2,3	3928	495
7	16	4143	331	58,2	2,6	3957	555
7	17	4119	476	58,3	3,8	3950	644
7	18	4094	452	59,2	3,6	3981	565
7	19	4233	433	60,9	5,5	4053	547
7	20	4518	394	65,0	5,2	4508	527
3	21	4386	230	63,2	5,0	4432	436
3	22	4508	131	64,9	3,5	4627	393
3	23	4403	120	63,5	3,6	4638	424
2	24	4385	50	62,3	2,1	4490	387
2	25	4720	198	67,1	5,1	4943	487
1	26	4900	-	71,3	-	5316	-
Erholung	1	3451	207	48,9	3,7	3699	333
	2	1664	251	23,5	3,4	2029	324
	3	1208	292	17,0	4,0	1437	321
	4	836	163	11,7	2,1	920	185
	5	577	129	8,0	1,9	644	138

Tab. 20 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) der absoluten und relativen Sauerstoffaufnahme sowie der Kohlendioxydabgabe bei der Laufbandergometrie der Leistungssportler

LAUFBAND-ERGOMETER

Hochleistungssportler

n	min	Hr		O ₂ - Puls		O ₂ - Puls / kg	
		$\bar{x}$	$s \pm$	$\bar{x}$	$s \pm$	$\bar{x}$	$s \pm$
7	Ruhe	75	23	4,7	1,5	0,06	0,02
7	1	136	15	9,1	1,3	0,12	0,02
7	2	135	24	21,0	2,7	0,29	0,03
7	3	136	21	20,3	2,0	0,28	0,02
7	4	139	19	20,4	2,3	0,28	0,02
7	5	139	19	20,8	2,6	0,29	0,02
7	6	142	18	20,2	2,2	0,28	0,02
7	7	152	13	19,8	2,0	0,28	0,02
7	8	156	12	22,1	2,6	0,31	0,02
7	9	157	12	21,6	2,6	0,30	0,03
7	10	159	13	22,2	2,1	0,31	0,02
7	11	160	12	21,7	2,6	0,30	0,03
7	12	161	11	21,6	2,5	0,31	0,02
7	13	168	10	21,9	2,5	0,31	0,02
7	14	171	10	23,2	2,8	0,32	0,02
7	15	173	9	23,6	2,9	0,33	0,02
7	16	175	8	23,7	2,4	0,33	0,02
7	17	176	9	23,5	3,3	0,33	0,03
7	18	177	8	23,2	3,1	0,33	0,03
7	19	179	8	23,6	2,8	0,34	0,03
7	20	184	7	24,6	2,3	0,35	0,03
3	21	185	9	23,7	1,9	0,34	0,03
3	22	188	14	24,1	2,2	0,34	0,03
3	23	187	12	23,6	1,7	0,34	0,03
2	24	183	4	24,0	0,4	0,34	0,02
2	25	187	3	25,3	1,5	0,36	0,04
1	26	188	-	26,0	-	0,37	-
Erholung	1	150	12	23,0	2,1	0,32	0,03
	2	126	19	13,3	2,2	0,18	0,03
	3	118	13	10,2	2,1	0,14	0,03
	4	108	12	7,8	1,6	0,10	0,02
	5	108	11	5,3	1,0	0,07	0,01

Tab. 21

Minutendurchschnittswerte
mit Standardabweichungen (s)
der Herzfrequenz sowie des
absoluten und relativen Sauer-
stoffpulses bei der Laufband-
ergometrie der Leistungssportler

LAUFBAND-ERGOMETER

Hochleistungssportler

n	min	AA (ml)		RQ		$\bar{x}$	s ±
		$\bar{x}$	s ±	$\bar{x}$	s ±		
7	Ruhe	34,0	5,1	0,80	0,07		
7	1	29,2	3,4	0,80	0,08		
7	2	22,8	2,6	0,76	0,06		
7	3	24,1	3,0	0,82	0,06		
7	4	23,9	3,0	0,83	0,04		
7	5	24,1	2,6	0,84	0,06		
7	6	24,3	2,6	0,85	0,04		
7	7	24,7	2,2	0,87	0,08		
7	8	23,7	3,1	0,87	0,07		
7	9	24,2	2,5	0,90	0,06		
7	10	24,5	3,0	0,89	0,06		
7	11	24,7	2,9	0,90	0,06		
7	12	24,6	2,6	0,90	0,06		
7	13	25,5	2,9	0,94	0,06		
7	14	25,7	3,8	0,95	0,07		
7	15	26,3	3,6	0,96	0,06		
7	16	26,5	4,1	0,95	0,07		
7	17	26,6	3,9	0,96	0,08		
7	18	27,5	4,7	0,97	0,09		
7	19	26,4	3,5	0,96	0,04		
7	20	27,4	3,7	1,00	0,04		
3	21	26,8	4,1	1,02	0,06		
3	22	27,1	4,4	1,08	0,07		
3	23	28,6	4,7	1,05	0,07		
2	24	28,6	6,9	1,03	0,09		
2	25	29,1	6,5	1,04	0,07		
1	26	32,4	-	1,09	-		
Erholung	1	29,9	4,5	1,07	0,08		
	2	37,7	3,8	1,23	0,06		
	3	40,2	4,6	1,19	0,11		
	4	41,0	5,3	1,11	0,08		
	5	42,0	5,1	1,12	0,11		

Tab. 22 Minutendurchschnittswerte mit Standardabweichungen (s) des Respiratorischen Quotienten und des Atemäquivalents bei der Laufbandergometrie der Leistungssportler

Zeichenerklärung

Hf	=	Herzschlagfrequenz
APS	=	Arbeitspulssumme
EPS	=	Erholungspulssumme
PWC ₁₇₀	=	Physical Working Capacity
AMV	=	Atemminutenvolumen
Af	=	Atemfrequenz
AZV	=	Atemzugvolumen
O ₂ -Aufn.	=	absolute Sauerstoffaufnahme STPD in ml
O ₂ /kg	=	relative Sauerstoffaufnahme STPD pro Kilogramm Körpergewicht in ml
O ₂ /Hf	=	Sauerstoffpuls in ml
ÄÄ	=	Atemäquivalent
RQ	=	Respiratorischer Quotient
STPD	=	Standard Temperature Pressure Dry
BTPS	=	Body Temperature Pressure Saturated
n	=	Anzahl der Versuchspersonen
$\bar{x}$	=	Durchschnittswert
ml	=	Milliliter
l	=	Liter
kg	=	Kilogramm
min	=	Minute
sec	=	Sekunde
mm Hg	=	Druck in Millimeter Quecksilbersäule

Die Zeichenerklärung für den statistischen Teil
befindet sich auf Seite 76.

Für die freundliche Überlassung des Themas meiner Dissertation danke ich dem Direktor des Sportmedizinischen Instituts der Justus-Liebig-Universität Gießen, Herrn Professor Dr. med. Paul E. Nowacki (FB 05 Institut für Sportwissenschaft und FB 23 Zentrum für Innere Medizin).

Dank gebührt auch dem Wissenschaftlichen Mitarbeiter Herrn E. Simai, sowie der Medizinisch Technischen Assistentin, Fräulein Ingeborg Krömer, die mir bei der praktischen Arbeit und bei technischen Fragen jederzeit behilflich waren.

Dieser Dank schließt aber auch die anderen Mitarbeiter des Instituts, die mich bei den Untersuchungen unterstützten, ebenso die Kollegen Wettich und Zimmer, ein.

Für die freundliche Unterstützung durch Informationen und Geräte danke ich der Elektromedizinischen Gerätefabrik Erich Jaeger, Würzburg.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Paul E. Nowacki, der mir in jeder Phase der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Lebenslauf

Am 8. September 1951 wurde ich als zweites Kind des Metzgermeisters Ernst Staaden und seiner Frau Eleonore, geborene Braun, in Oberbiel, Kreis Wetzlar geboren.

Von 1958 bis 1962 besuchte ich die Volksschule in Leun, ab 1962 das Gymnasium Philippinum in Weilburg, wo ich am 5. Juni 1970 das Abitur bestand.

Von 1970 bis 1972 leistete ich meinen Wehrdienst im Sanitätsdienst der Bundeswehr ab.

Seit dem Wintersemester 1972/73 studierte ich an der Justus-Liebig-Universität Gießen Medizin.

Dort bestand ich 1975 die Ärztliche Vorprüfung, 1976 den 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung und 1978 den 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung.

Seit Mai 1979 bin ich approbiert und als Assistent an der Inneren Abteilung des Kreiskrankenhauses Weilburg/Lahn tätig.

